FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1919

THÈSE

177

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

G. RICHARD
Interne provisoire des Hôpitaux de Paris.
Licencié ès-sciences.

LE RÔLE MÉDICAL

DE

L'AMPOULE COOLIDGE

Président : M. JEANSELME, *Professeur.*

PARIS
LIBRAIRIE LE FRANÇOIS
9, RUE CASIMIR-DELAVIGNE
91, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1920

Faculté de Médecine de Paris

LE DOYEN : M. ROGER — ASSESSEUR M. POUCHET

PROFESSEURS MM.

Anatomie	NICOLAS
Anatomie médico-chirurgicale	CUNEO.
Physiologie	Ch. RICHET
Physique médicale	WEISS
Chimie organique et Chimie générale	DESGREZ
Bactériologie	BESANCON
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	BRUMPT
Pathologie et Thérapeutique générales	N.
Pathologie médicale	VAQUEZ
Pathologie chirurgicale	GOSSET
Anatomie pathologique	LETULLE
Histologie	PRENANT
Opérations et appareils	DUVAL
Pharmacologie et matière médicale	POUCHET
Thérapeutique	CARNOT
Hygiène	BERNARD
Médecine légale	BALTHAZARD
Histoire de la médecine et de la chirurgie	MÉNÉTRIER
Pathologie expérimentale et comparée	ROGER
Clinique médicale	ACHARD, WIDAL, GILBERT, CHAUFFARD
Hygiène et clinique de la première enfance	MARFAN
Clinique des maladies des enfants	HUTINEL
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	DUPRÉ
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	JEANSELME
Clinique des maladies du système nerveux	P. MARIE
Clinique des maladies contagieuses	TEISSIER
Clinique chirurgicale	DELBET, QUENU, LEJARS, HARTMANN
Clinique ophtalmologique	DE LAPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires	LEGUEU
Clinique d'accouchements	BAR, COUVELAIRE, RIBEMONT-DESSAIGNES
Clinique gynécologique	J. L. FAURE
Clinique chirurgicale infantile	BROCA
Clinique thérapeutique	A. ROBIN
Clinique d'Oto-rhino laryngologie	SEBILEAU.

Agrégés en exercice

MM :

ALGLAVE	JEANNIN	LOEPER	ROUVIERE
BRANCA	JOUSSET (A.)	MOCQUOT	SCHWARTZ
CAMUS	LABBE (Henri)	MULON	SICARD
CASTAIGNE	LAIGNEL-LAVASTINE	NOBECOURT	TANON
CHAMPY	LANGLOIS	OKINCZYC	TERRIEN
CHEVASSU	LECENE	OMBREDANNE	TIFFENEAU
DESMAREST	LEMIERRE	RATHERY	VILLARET
GOUGEROT	LENORMANT	RETTERER	ZIMMERN
GREGOIRE	LEQUEUX	RIBIERRE	
GUENIOT	LEREBOULLET	RICHAUD	
GUILLAIN	LERI	ROUSSY	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON MAÎTRE

MONSIEUR LE DOCTEUR BECLÈRE

Hommage de ma reconnaissance et de mon respectueux attachement.

A MON MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

M. LE PROFESSEUR JEANSELME

A qui nous adressons nos remerciements pour la bienveillante sympathie qu'il nous a toujours témoignée.

A MES MAÎTRES DANS LES HÔPITAUX DE PARIS

1908-09	MM.	le Professeur agrégé WALTHER.
1909-10		le Professeur TEISSIER.
1910-11		le Professeur agrégé THIROLOIX.
1911-12		le Professeur HUTINEL.
1912-13		le Professeur agrégé POTOCKI.
1912-13		le Professeur JEANSELME.
1913-14		le Docteur BECLÈRE, Membre de l'Académie de Médecine.

AVANT-PROPOS

Avant d'aborder le sujet de notre thèse, qu'il nous soit permis de remercier ici M. le Docteur Béclère. Il a guidé avec bienveillance nos premiers pas dans le domaine de la radiologie, chaque jour il nous prodigue ses conseils et ses encouragements. Qu'il daigne accepter l'hommage de ce travail inspiré par lui et exécuté dans son service.

Nous adressons aussi un souvenir ému à la mémoire de votre ami le Docteur Jaugeas, et nous remercions les Docteurs Salomon et Henri Béclère dont l'expérience et les conseils ont été pour nous une aide précieuse.

LE ROLE MÉDICAL DE L'AMPOULE COOLIDGE

L'art de la médecine étant appuyé sur les diverses sciences physiques, chimiques et biologiques, tout progrès réalisé dans l'une de ces dernières a sa répercussion dans le domaine médical.

Parfois le retentissement est énorme : la bactériologie a bouleversé complètement la médecine, la découverte de Rœntgen nous a doté d'un instrument puissant de diagnostic et de traitement, mais les progrès de détail ont aussi leur importance, les perfectionnements du microscope ont puissamment contribué au développement de la science bactériologique, de même les progrès matériels de la radiologie ne sauraient nous laisser indifférents; pour reprendre la comparaison de Cl. Bernard, après les géants, les hommes de génie, viennent des pygmées qui montent sur leurs épaules et voient plus loin qu'eux.

CARACTÉRISTIQUES ET DÉFAUTS DES TUBES A GAZ RARÉFIÉ

En radiologie, parmi les récentes découvertes, il nous faut placer en premier lieu les tubes à vide, à cathode incandescente; depuis la découverte des Rayons X et leur application médicale, de nombreux progrès matériels avaient été réalisés, mais l'élément essentiel, le tube, quoique fréquemment remanié et perfectionné, restait en somme peu modifié et basé sur le même principe : une ampoule portant 2 ou 3 électrodes (mono ou bi-anodiques) est purgée d'une grande partie de son gaz. La pression intérieure atteint environ 1 μ de mercure. Un tel tube, convenablement relié à une source de haut potentiel, devient le siège de 3 sortes de radiations.

1° Rayons cathodiques. — Découverts par Hittorf, en 1863, ces rayons, à trajectoire rectiligne, naissent perpendiculairement à la surface de la cathode. Crookes les considéra comme un quatrième état de la matière, comme de la matière radiante, c'est-à-dire de la matière libre, en raison de sa raréfaction, d'accomplir des tra-

jets rectilignes relativement longs. De plus, Crookes affirma que cette matière radiante était électrisée, ce qui était vraisemblable puisque les rayons cathodiques sont déviés par un champ magnétique ou un champ électrique, mais il n'en donna pas la preuve expérimentale. C'est à M. Perrin que revient l'honneur d'avoir démontré que les rayons cathodiques sont électrisés négativement. Cette preuve expérimentale fut décisive pour trancher le désaccord entre les physiciens dont les uns adoptaient pour les rayons cathodiques la théorie de l'émission (seule compatible avec l'électrisation de ces rayons), les autres la théorie des ondes de l'éther.

J.-J. Thompson étudia la vitesse des particules cathodiques et démontra qu'elle ne dépend point de la nature des gaz de l'ampoule, contrairement à ce que faisait prévoir la théorie cinétique des gaz, mais uniquement de la différence de potentiel appliquée aux bornes du tube. Cette vitesse varie de 100.000 à 250.000 kilomètres à la seconde.

Les physiciens mesurèrent la charge électrique des particules cathodiques; elle fut trouvée égale à la charge d'un atome d'hydrogène dans l'électrolyse de l'eau. Ensuite fut mesurée la masse des particules; celle-ci apparut 1800 fois plus petite que celle de l'atome d'hydrogène, quel que fut le gaz résiduel de l'ampoule.

Pour ces 2 motifs, petitesse de la masse et indépendance entre cette masse et la nature chimique du gaz dont elle est issue, les physiciens cessèrent de considérer les particules cathodiques comme des ions néga-

tifs, c'est-à-dire comme des particules matérielles chargées négativement; ils les ont regardées comme des portions d'électricité pure, des grains d'électricité séparés de la matière, qu'ils nommèrent électrons négatifs, on plus simplement électrons.

Rayons anodiques. — Ce sont des ions positifs, ce qui reste de la molécule neutre après qu'elle a perdu ses petits électrons; leur masse est donc volumineuse, sensiblement égale à celle de l'atome, ce qui explique leur faible vitesse (4×10^8 centimètres par seconde au lieu de 10^{10} centimètres par seconde pour les rayons cathodiques).

Mis en évidence par Goldstein dans les tubes de Crookes en employant des cathodes perforées, ils sont déviables par l'aimant, mais en sens inverse de celui des rayons cathodiques.

Rayons X. — Découverts par Roentgen en 1895, non déviables par l'aimant, incapables, disait-on de subir réflexion, réfraction, polarisation, leur nature fut longtemps discutée. Rangés parmi les vibrations de l'éther, animés comme elles d'un mouvement rectiligne uniforme de 300.000 kilomètres par seconde, les rayons X furent successivement considérés comme vibrations transversales à très courte longueur d'onde (rayons ultra-ultra violets) comme des vibrations longitudinales de l'éther (Roentgen) comme une des vibrations discontinues formées de pulsations amorties (Stokes). Actuellement, les rayons de Roentgen sont connus dans leur nature, et ne méritent plus le nom de rayons X : les études récentes ont prouvé que les rayons X sont capables de

réflexion, de réfraction, de polarisation, mais que leur longueur d'onde est si petite que les appareils en usage jusqu'à ces dernières années étaient trop grossiers pour mettre en évidence ces phénomènes. Nous verrons même un peu plus loin que la composition d'un faisceau hétérogène de rayons X peut être étudiée par une sorte de réfraction, par la méthode spectrographique de M. Maurice de Broglie.

Le tube Coolidge a grandement favorisé ces études de Physique générale; notons seulement les résultats obtenus avec eux concernant la longueur d'onde des rayons X. Les rayons de plus grande longueur d'onde actuellement connus furent étudiés avec des tubes spéciaux dont la paroi de verre était très peu absorbable (verre Lindemann) et soumis à une tension de 1.000 volts seulement. Dans ces conditions, on obtient des rayons de $\lambda = 12 \times 10^{-8}$ centimètres. A l'opposé, avec des tubes spécialement construits pour supporter une tension de 300.000 volts on a étudié des rayons X dont la longueur d'onde n'était que de 6×10^{-10} centimètres. Les tubes usuels donnent des rayons X dont la longueur d'onde varie de $\lambda = 1{,}5 \times 10^{-8}$ centimètres pour une tension de 8.000 volts à $\lambda = 1{,}21 \times 10^{-9}$ pour une tension de 120.000 volts environ (Sir Rutherford). Cette extrême brièveté de la longueur d'onde explique bien pourquoi nos miroirs ne sont point des surfaces polies pour de telles vibrations.

Les rayons X naissent du choc des corpuscules cathodiques sur un corps qui leur fait obstacle; pour reprendre une image du Professeur Langevin, les rayons

cathodiques sont comparables aux gouttes de pluie tombant sur un toit de zinc, les rayons de Roentgen aux vibrations sonores qu'engendre le choc des gouttes d'eau sur la lame métallique.

De la structure de ces ampoules à gaz raréfiés résultent les phénomènes suivants :

a) Le pouvoir de pénétration des Rayons X (autrement dit la dureté du rayonnement) est réglé par la vitesse des électrons; plus celle-ci augmente, plus augmente la fréquence des vibrations roëntgéniennes, auxquelles donnent naissance ces électrons. Cette vitesse dépend de la différence de potentiel aux bornes de l'ampoule. Cette vitesse varie :

1° Avec la source de courant de haute tension utilisée.

2° Avec la résistance intérieure du tube, c'est-à-dire avec son degré de vide. Pour un courant donné constant, si le vide diminue, la résistance du tube devient plus faible, la différence de potentiel à ses électrodes plus faible, la vitesse des électrons diminue.

b) L'intensité du rayonnement X dépend de l'intensité du rayonnement cathodique, c'est-à-dire du nombre d'électrons frappant l'anticathode dans l'unité de temps. Ce nombre d'électrons varie avec les causes qui les mettent en liberté : c'est l'afflux des corpuscules positifs qui provoque au niveau de la gaîne cathodique, la libération des électrons. Plus sera grande l'énergie de ces ions positifs, plus ce dégagement d'électrons sera abondant. Si donc nous augmentons la différence de potentiel aux bornes d'un tube donné, nous réalisons les conditions exigées, le nombre d'électrons libérés aug-

mente, l'intensité du courant qui traverse le tube s'accroît ; en même temps, la vitésse des électrons augmente, provoque l'apparition de rayons X de plus grande fréquence, de pouvoir de pénétration plus élevé. Ainsi, l'augmentation de la différence de potentiel aux bornes du tube provoque deux modifications du rayonnement X.

1° L'intensité X augmente. Nous donnons plus loin une courbe de l'intensité en fonction du voltage qui rend compte de l'allure du phénomène.

2° Le pouvoir de pénétration du faisceau X augmente.

D'un autre côté, si le vide du tube augmente, tandis que la source électrique demeure invariable, les modifications suivantes se produisent : l'afflux cathodique ne rencontrant plus de molécules gazeuses assez nombreuses, le nombre d'électrons libérés devient plus faible, l'intensité du courant dans le tube diminue, l'intensité du rayonnement X, fonction du nombre d'électrons, diminue également. Mais à ce moment, la résistance du tube s'est accrue, la différence de potentiel aux bornes de cette ampoule est donc plus grande, les corpuscules négatifs, plus rapides, donnent naissance à des Rayons X de pouvoir de pénétration plus élevé. Donc :

Ou bien le tube présente un vide peu élevé (il est dit mou) ; il donne alors beaucoup de rayons peu pénétrants.

Ou bien, le vide est poussé fort loin (le tube est dit dur) ; il donne alors peu de rayons, très pénétrants.

Il y a ainsi antagonisme entre l'intensité X et le pouvoir de pénétration du rayonnement émis par une ampoule à gaz raréfié.

La radiothérapie profonde exigeant des rayons très

pénétrants et de grandes quantités de rayons ainsi qu'un éloignement suffisant entre le sujet et l'ampoule, on était obligé d'utiliser des tubes durs, de faible débit, d'où la nécessité de très longues séances.

Ce défaut, capital pour la radiothérapie, est inhérent à la structure même des tubes à vide relatif : en effet, dans ces tubes l'origine des électrons est dans la dissociation des particules gazeuses contenues dans l'ampoule; de cette dissociation naissent deux des rayonnements étudiés, les cathodiques et les anodiques. Pour les comprendre, il faut considérer un instant la structure de l'atome telle que la conçoivent actuellement les physiciens. Pour eux, et pour Sir Rutherford en particulier, l'atome serait constitué par un corpuscule central peu volumineux, centre d'attraction positif (dans lequel toute la masse de l'atome est pratiquement concentrée) autour duquel graviteraient une foule d'électrons d'un diamètre infiniment petit, en nombre suffisant pour rendre l'atome électriquement neutre, et qui s'étendraient jusqu'à des distances du noyau de l'ordre de grandeur des valeurs admises pour le rayon de l'atome; le tout est animé d'un mouvement gyratoire de vitesse aussi grande que celle de la lumière.

Quoi qu'il en soit, retenons ce fait que l'intensité du rayonnement cathodique dépend du nombre des molécules gazeuses contenues dans le tube; il est donc impossible d'obtenir des tubes à vide partiel donnant un rayonnement X à la fois intense et pénétrant.

c) Le foyer des Rayons cathodiques et le foyer du miroir cathodique ne coincident pas. — S'il est vrai que

ces rayons sont émis normalement à la surface de la cathode, dans le tube des Rayons X ils ne se propagent pas exactement en ligne droite : soumis à des influences électrostatiques puissantes, leur cône s'allonge, s'étire et en pratique des constructeurs placent l'anticathode non au foyer du miroir, mais au foyer de convergence des rayons cathodiques, pour un voltage moyen. Cette correction n'empêche pas que, suivant que l'on utilise ce tube, soit à l'état très résistant, soit à l'état peu résistant, ce foyer se déplace, la distance focale s'allonge à mesure que le vide du tube augmente, se raccourcit et se rapproche du foyer du miroir cathodique quand le vide diminue. Donc, selon les cas, le point de convergence des rayons cathodiques est tantôt en avant, tantôt en arrière, rarement au niveau du plan de l'anticathode. En outre, non seulement le foyer subit un déplacement antéro-postérieur, mais encore il subit des oscillations latérales assez rapides. Ce phénomène, parfois visible à l'œil nu quand on observe certains tubes en fonctionnement, est mis en évidence par la photographie de l'anticathode par le procédé dit de la chambre à trou d'épingle : Dans une boîte en plomb, on place une plaque sensible contre une face ; la face opposée est percée en son centre d'un petit trou obturé par du papier noir ; on réalise ainsi un appareil sténopéique très simple, rappelant les premières chambres noires de photographie, et utilisable pour les seuls rayons X. Les photographies d'anticathode ainsi obtenues montrent qu'à côté du foyer principal à contours flous, dûs aux petits déplacements latéraux, à l'allongement variable du fais-

ceau cathodique existent d'autres foyers secondaires, d'intensité plus faible, situés souvent à 2-3 millimétres du foyer principal, dûes aux déplacements du foyer cathodique. Si l'on photographie au contraire, l'anticathode d'un tube Coolidge, le contraste est frappant : un seul foyer, à bords nets, est visible sur la plaque. En plus, dans l'un et l'autre cas, on constate la présence d'un rayonnement émis par toute la surface de l'anticathode; nous y reviendrons plus loin.

Cette fixité du foyer, très remarquable dans une série de clichés que nous a montrés M. Pilon, fait comprendre sans peine comment, à largeur de foyer égale, l'ampoule Coolidge pourra donner plus de détails sur les clichés, en un mot, comment son pouvoir séparateur sera meilleur qu'avec des tubes à vide relatif.

d) Dans les tubes a vide partiel, des Rayons X naissent du verre du ballon. — En effet, de tout l'hémisphère situé en avant du plan de l'anticathode, naissent dans de tels tubes des Rayons X produits par les rayons cathodiques venus de l'anticathode et frappent les parois du ballon. Cette émission s'accompagne d'une belle fluorescence du verre, qui apparaît normalement dès que l'on excite le tube. Il se passe là ce qui se passait sur la paroi du tube de Crookes opposée à la cathode; comme dans ce tube primitif, il y a échauffement notable de la paroi du verre. Cet autre foyer de rayons X, faible il est vrai, s'ajoute aux causes précédentes pour créer de la pénombre et nuire à la netteté des images radiologiques.

e) Les ampoules a vide relatif sont inconstantes.

— En effet, par suite du fonctionnement, une partie des molécules gazeuses contenues dans le tube est détruite, une autre partie, entraînée par le rayonnement, se fixe dans les parois et les pièces du tube ; donc le vide augmente, le tube devient résistant, l'intensité du rayonnement X décroit tandis que le pouvoir moyen de pénétration du faisceau augmente : le tube durcit.

C'est ce que l'on observe habituellement quand le tube marche à faible intensité, comme c'est le cas en radiothérapie. — D'autres fois (et c'est le cas en radiographie rapide) sous l'influence de décharges intenses, le phénomène inverse se produit, le tube libère les gaz occlus dans ses parois ; aussi est-il presque constant d'observer le phénomène suivant : avant une radiographie rapide, un tube fonctionnant avec une étincelle équivalente de 12 centimètres, ne fonctionne plus, après la prise du cliché, qu'à 7 ou 8 centimètres. Pendant ce temps de pose, pourtant bien court, le tube a donc molli considérablement. Rien de tel ne se passe dans les tubes Coolidge; nous insisterons sur ce point capital dans un instant.

b) Les ampoules a gaz raréfié sont presque symétriques, c'est-à-dire que le courant passe indifféremment dans les deux sens, si dans le circuit de haute tension n'existe aucun dispositif pour arrêter l'une des deux ondes, même le courant passe plus facilement en sens inverse quand l'anticathode est incandescente; or nous savons combien le passage de l'onde inverse est funeste à ces ampoules.

Dans certaines ampoules Coolidge, nous le verrons,

ce défaut est absent; dans toutes, il est beaucoup moins marqué que dans les tubes à cathode froide.

L'expérience et l'attention permettraient d'obvier à la plupart de ces défauts, mais l'antagonisme intensité — pouvoir de pénétration et l'irrégularité de marche des tubes, même les meilleurs, étaient deux obstacles capitaux auxquels il était difficile de remédier.

PRINCIPE DU TUBE COOLIDGE

Pendant longtemps, l'ampoule à gaz raréfié fut la seule source connue de rayons cathodiques et X —. L'étude des corps radio-actifs, uranium, polonium, thorium, radium, aboutit à cette conclusion : ces corps émettent des radiations semblables à celles de l'ampoule de Cookes, les rayons α sont identiques aux rayons anodiques, les rayons β sont analogues aux rayons cathodiques, les rayons γ sont assimilables aux rayons X; seule différence : les deux premiers ont leurs particules animées de vitesses beaucoup plus grandes quand elles proviennent du radium et, conséquense vérifiée par l'expérience, des rayons γ sont beaucoup plus pénétrants, de longueur d'onde beaucoup plus courte que les rayons X. Mais il n'y a pas de fossé entre des rayons X et γ; en effet, les dernières recherches ont montré que les tubes Coolidge pouvaient donner des radiations allant de $\lambda = 3 \times 10^{-8}$ centimètres à $\lambda = 1,71 \times 10^{-9}$ centimètres (Rutherford) et même à $\lambda = 1,21 \times 19^{-9}$ (M. de Broglie). La longueur $\lambda = 6 \times 10^{-10}$ aurait même été mesurée, comme nous l'avons signalé plus

haut. Or les rayons γ mous du radium B et du radium C, vont de 10^{-8} à 10^{-9}. Les radiations de cette fréquence peuvent donc être fournies indistinctement par une ampoule Coolidge ou par un tube de radium.

Dans un autre ordre d'idées, nombre de réactions physiques ou chimiques apparurent accompagnées de phénomènes électriques; il fut démontré plus tard que ces phénomènes étaient dûs à l'émission de corpuscules électrisés positivement ou négativement; en tout assimilables aux rayons α, β, anodiques et cathodiques dont nous avons parlé.

Parmi les réactions chimiques accompagées d'émission de corpuscules électrisés, citons la production d'hydrogène par action de l'amalgame de radium sur l'eau, l'oxydation du phosphore blanc à l'air, l'hydratation du sulfate de quinine desséché, la transformation de l'oxygène de l'air en ozone par le phosphore, etc. Par ailleurs, certains alliages, formés de métaux non spontanément radioactifs à l'état isolé, émettaient des radiations, tel l'alliage sodium-potassium étudié par J.-J. Thompson, dans le vide, l'alliage mercure-étain étudié par C. Le Bon, où la radioactivité apparaît avec une proportion de 1/6000e d'étain dans l'alliage.

Dans un autre ordre d'idées, Hertz et Halbwachs montrèrent que la lumière frappant la surface de métaux polis donnait naissance à des rayons α et β. Ce phénomène est connu depuis sous le nom d'effet Hertz-Halbwachs. Hertz étudia l'action de la lumière ultra-violette sur des plaques de métal chargées négativement; Lénard compléta cette étude en 1899; selon la longueur

d'onde employée, la quantité d'électricité libérée est plus ou moins grande, les rayons de plus courte longueur d'onde sont les plus actifs. L'action apparaît croissante de 0 μ 400 à 0 μ 100. A partir de 0 μ 185, l'émission de rayons cathodiques est obtenue avec tous les métaux, le bois, et même le gaz de l'air.

Ce fut Branly qui montra que les flammes déchargent les corps électrisés, quel que soit le signe de leur charge ; au rouge sombre, la décharge négative l'emporte ; au rouge vif, la décharge des corps chargés négativement est aussi rapide que celle des corps chargés positivement. Les gaz des flammes gardent à froid la propriété de décharger l'électroscope.

Si intéressantes que fussent ces recherches, elles n'aboutirent pas à une conclusion pratique, à l'inverse des découvertes que nous allons maintenant relater.

Elster et Geitel montrèrent qu'un fil électrisé à haut potentiel émet un rayonnement faible et temporaire.

En 1885, Edison, l'inventeur de la lampe à incandescence à filament de carbone, reconnut que cette lampe émettait lors de son fonctionnement une décharge électrique négative. (Ce phénomène est, depuis, décrit sous le nom d'effet Edison). Richardson poursuivit ces recherches sur le carbone et les métaux ; cet auteur, et J.-J. Thompson insistèrent sur l'énorme source d'électrons mise à notre disposition par les corps incandescents et en particulier dans les lampes à filament métallique, source de rayons cathodiques beaucoup plus considérable que les précédentes. Frappés des résultats de ces expériences, nombre de chercheurs essayèrent

d'utiliser cette source d'électrons pour la production des rayons X. Longtemps, les efforts demeurèrent infructueux, quand, en 1911-1912, ces tentatives aboutirent presque simultanément à la découverte de l'ampoule Lilienfeld en Allemagne, de l'ampoule Coolidge en Amérique.

L'ampoule Lilienfeld est un tube à vide aussi parfait que possible; elle possède :

1° Une cathode incandescente, formée d'un filament chauffé par un courant de basse tension fourni par des accumulateurs ou un transformateur; ce courant de basse tension n'est pas réglable; le filament fournit un nombre surabondant d'électrons.

2° Une anode cylindrique creuse; grâce à un deuxième transformateur, il est établi une différence de potentiel de valeur modérée, réglable au gré de l'opérateur, entre le filament cathodique incandescent et l'anode cylindrique primaire. Il s'établit ainsi un courant ionique d'intensité variable entre ces 2 électrodes précitées : c'est la décharge primaire; selon sa valeur, le nombre d'électrons entraînés, qui dans la suite serviront à la production des rayons X, augmente ou diminue.

3° Une anticathode unie à l'anode primaire par un troisième transformateur; une grande différence de potentiel peut être créée entre elles, qui anime des électrons situés dans l'anode cylindrique d'une vitesse proportionnée au voltage établi, et réglable pour le radiologiste. Par la manœuvre du rhéostat du deuxième transformateur, nous agissons sur l'intensité du rayonnement cathodique, donc sur l'intensité du rayonne-

ment X, tandis que le rhéostat du 3e transformateur nous permet de modifier la vitesse des électrons ; donc le pouvoir de pénétration des Rayons X.

Nous avons essayé d'avoir quelques renseignements sur la valeur pratique des tubes Lilienfeld, les radiologistes auxquels nous nous sommes adressés, en Suisse notamment, nous ont renvoyé à la description d'Albert Schœnberg, mais aucun n'a utilisé ces tubes, qui semblent beaucoup moins répandus en Allemagne que les tubes Coolidge en France et dans les pays alliés. D'après la description résumée que nous venons de donner, il ressort que ces ampoules sont plus compliquées que les tubes Coolidge, et que leur fonctionnement nécessite l'emploi de 3 transformateurs.

PRINCIPE DU TUBE COOLIDGE

Le tube américain fut réalisé d'après les plans de W. D. Coolidge, au Laboratoire de la Compagnie générale électrique de Shenectady. Là encore, le vide du tube est absolu pratiquement, la source unique d'électrons est un filament métallique, en tungstène, porté à l'incandescence; il n'y a pas d'ionisation de gaz dans l'ampoule.

Dans ce tube, la cathode est une spirale à fil de tungstène portée à haute température par une batterie d'accumulateurs soigneusement isolée, ou mieux par un transformateur spécial, capable de donner au courant de un à cinq ampères, sous une tension de 8 à 12 volts. La forme du champ électrostatique nécessité par le centrage du flux électronique est déterminée par une petite cupule de molybdène. Le vide du tube est poussé le plus loin possible; pratiquement, il reste encore 3×10^{16} molécules gazeuses environ par centimètre cube; la pression est d'environ 10^{-8} centimètres de mercure. Tel qu'il est, ce vide est suffisant pour interdire

le passage à tout courant sous une tension inférieure à 100.000 volts, tant que le filament n'est pas chauffé.

Dans l'ensemble, le tube Coolidge a une forme simple, par suite de l'absence de tout régulateur de vide; il est mono-anodique et long; le diamètre de son ballon est plus petit à puissance égale, que celui des ampoules à gaz raréfiés.

MODÈLES

Divers modèles sont en circulation ou en construction.

1° Modèle Standard. — Tube de 55 centimètres de long. panse de 18 centimètres de diamètre. L'anticathode est en tungstène massif de 2 centimètres environ de diamètre, supportée par une tige en molybdène, longue, fixée à un support d'acier; sa longueur permet la diffusion de la chaleur par radiation, de sorte que le support ne s'échauffe pas sensiblement. L'extrémité anodique est coiffée d'un simple capuchon à anneau, le col cathodique est terminé par une douille à vis Edison pour amener le courant filament et aussi le courant de haute tension; comme toujours dans ces douilles, l'une des extrémités du filament aboutit à la périphérie, portant un pas de vis, l'autre au centre de la douille; ces 2 parties sont réunies par une substance isolante. Ce modèle comprend 3 types qui ne diffèrent que par la largeur de leur point d'impact.

1°	Tube à focus fin	de 1/8 inche.	3 mm. 2 de diam.
2°	— —	moyen de 3/16 —	4 mm. 8 —
3°	— —	large de 5/16 —	8 mm. —

Ces tubes peuvent supporter des intensités maxima croissant avec le diamètre du focus; ce qui limite, en effet, la puissance d'un tube, c'est le danger de fondre l'anticathode, or il est évident que pour une même quantité de chaleur produite en un temps donné la température du focus sera d'autant plus élevée que la surface d'impact sera plus petite. Par contre, le pouvoir séparateur, donc la finesse des images, diminuera avec la largeur du focus, aussi les 2 premiers modèles sont réservés au radiodiagnostic, le 3e modèle est destiné à la radiothérapie exclusivement. Si l'on compare la largeur du focus de divers tubes, on voit que l'on obtient :

Tube Pilon.....	2 mm. 25 — 3 mm.
Tube Müller.....	2 mm.
Tube Gundelach . ..	4 mm. — 6 mm.

La largeur du focus est donc assez voisine dans les divers tubes, qu'ils soient à vide ou à gaz raréfié, mais dans ces derniers, le focus n'est pas fixe comme dans le Coolidge.

2° Modèle A. — Longueur : 50 centimètres. Diamètre du ballon : 9 centimètres. C'est un modèle à foyer très fin, le filament spiral est logé au fond d'une capsule très creuse, d'où analogie d'aspect extérieur avec la cathode d'une ampoule ordinaire.

L'anticathode est semblable à celle du modèle Standard La construction de ce modèle est abandonné; le type suivant présentait les mêmes avantages, et en plus d'autres qualités.

3° Modèle radiateur. — Longueur : 45 centimètres,

diamètre du ballon : 8 centimètres. Ces petites dimensions du ballon font surnommer cette ampoule : bébé Coolidge. Dans ce modèle la cathode, semblable à celle du modèle A, est logée au fond d'une cupule très creuse.

L'anticathode est formée d'une épaisse pastille de tungstène, noyée dans un cylindre de cuivre rouge, ou tête d'anticathode, unie par soudure termino-terminale à un deuxième cylindre de cuivre de même diamètre, ou corps d'anticathode. Ce corps se prolonge extérieurement et est coiffé par un radiateur à ailettes, qui s'emboîte à frottement sur la tige de cuivre. Le focus et l'anticathode sont beaucoup plus rapprochés l'un de l'autre dans ce modèle que dans le type Standard.

Actuellement, la Coolidge radiateur est construite sur deux types, qui comme pour le Standard ne diffèrent que par la largeur du focus :

Le *1er modèle*, le plus connu, est le tube 10 milliampères; il supporte pendant 40 secondes ce régime avec une étincelle équivalente à 5 inch (12 cm. 7). C'est le modèle habituel du Service de santé de l'Armée américaine.

Le *2e modèle*, dit tube 30 milliampères, est à focus plus large 3/16 inch (4 mm. 8) et supporte ce régime sans trace visible sur l'anticathode pendant 35 secondes; en pratique, ce temps peut être très largement dépassé sans nuire sensiblement au tube.

Un *3e modèle* est à l'essai pour obtenir 100 milliampères dans les mêmes conditions.

Utilisé dans les limites que nous venons d'indiquer, ce tube garde une anticathode à température peu

élevée, grâce à sa masse métallique importante et à son radiateur; seule alors sa cathode émet des électrons, le courant ne pourra donc passer que quand le filament chauffé sera au pôle négatif, de la sorte ce tube joue le rôle de soupape, et de soupape sans inertie, parfaite, absolument étanche dans un sens, il réunit donc les avantages d'un tube Standard et d'une soupape Kenotron; par contre, il ne peut fonctionner qu'à un voltage limité (12 cm. d'étincelle) tandis que les modèles précédents supportent sans danger des tensions de 100.000 volts; certains tubes ont même été soumis à des tensions de 150.000, 175.000 et même 200.000 volts.

Signalons pour mémoire un tube analogue à refroidissement par eau, complètement abandonné.

4° Modèle dentaire. — C'est également un tube à radiateur, avec anticathode de tungstène noyée dans une masse de cuivre.

La cathode semblable à celle du modèle précédent est au fond d'une cupule très creuse, mais ici l'axe de la pièce cathodique et celui de la masse anodique sont à angle droit; le tube a donc la forme générale d'équerre, à grande branche anodique, le centre du ballon étant au sommet de l'angle droit. Une telle disposition présente 2 avantages au point de vue radiographique :

1° Le rayonnement parasite de l'anticathode est moins intense dans ce modèle, ainsi que nous le verrons plus loin.

2° L'orientation d'un tel tube est bien plus facile que celle des autres modèles, où l'on est gêné par les 2 prolongements anodiques et cathodiques; dans ce

cas, si l'ampoule est peu éloignée du sujet, une légère inclinaison du tube rapproche l'une des extrémités du malade ; une étincelle peut jaillir, désagréable au patient. Ce petit accident est facile à éviter avec ce modèle ; malheureusement, nous n'avons pas en France, à l'heure actuelle, d'étriers étudiés pour supporter ce tube.

5° Tube gynécologique. — Créé pour la radiothérapie gynécologique en particulier, et plus généralement pour celle des cavités, ce tube, d'un diamètre de 4 centimètres environ, pourrait pénétrer dans les cavités de 6 centimètres en moyenne. L'idée d'une telle ampoule avait été émise autrefois par Bouchacourt, mais les essais de réalisation pratique du tube monopolaire n'avaient donné que des déboires.

6° Tube a carapace. (Actuellement en construction). — Il est un fait établi, sur lequel nous reviendrons plus loin c'est que l'anticathode Coolidge donne naissance par toute sa surface à des quantités de rayons X relativement importantes ; divers remèdes ont été apportés à cet inconvénient ; ce type d'ampoule est une élégante solution du problème ; d'après les renseignements fournis par W. D. Coolidge au Docteur Henri Beclère, ce tube présenterait une grande analogie de forme avec le tube Radiateur, son ballon aurait un diamètre de 2 inches 5 (64 mm.), mais serait formé par une paroi de verre très opaque aux rayons X, épaisse de 1/4 d'inche, (6 mm. 4) ; sur le trajet du cône d'utilisation, cette paroi est remplacée par une lame de verre très transparent aux rayons X.

Un tel dispositif permettrait l'utilisation de nos

cupules actuelles, insuffisantes comme moyen de protection quand on utilise les autres modèles de tube Coolidge, mais il est douteux qu'il puisse permettre la suppression de toute cupule.

Quel que soit le modèle considéré, l'extrémité cathodique est toujours terminée par une douille Edison; grâce à elle, le filament de chauffage peut être relié au fil venu du transformateur; le contact obtenu par l'intermédiaire de cette douille est excellent, c'est d'ailleurs une condition indispensable au bon fonctionnement du tube; vu le faible voltage utilisé dans le circuit-filament, la moindre résistance modifie l'intensité du courant, donc la température du filament et par suite l'émission d'électrons; la sensibilité est très grande, une légère modification du circuit filament crée de grandes variations d'intensité dans le circuit de l'ampoule, d'où oscillations fâcheuses, et perte de l'un des plus grands avantages du tube Coolidge : sa stabilité.

CONSTRUCTION DU TUBE COOLIDGE

Ici comme pour toute production industrielle, la main des ouvriers spécialisés fut remplacée par la machine toutes les fois qu'il fut possible de le faire. D'ailleurs, les nécessités de la guerre imposaient ce mode de travail. Les travaux de verrerie exécutés par des femmes, se font au chalumeau à gaz, les pièces à souder sont portées par des tours et animées d'une vitesse de rotation uniforme; seule la mise en place de l'anticathode est délicate et nécessite un personnel d'élite. L'obtention des pièces métalliques a fait l'objet d'études remarquables. Le tungstène est obtenu en réduisant l'oxyde jaune de ce métal; la poudre de tungstène métallique, noire et lourde, est d'abord fortement comprimée en barres déjà résistantes, puis passée au four et laminée un grand nombre de fois; on obtient alors des plaques de 4 millimètres environ d'épaisseur, prêtes à être utilisées. C'est dans ces plaques que des machines découpent les pastilles de l'anticathode. La pastille est montée sur trois petites griffes métalliques, et l'on coule du cuivre rouge autour, dans le cas de construction

d'un tube Radiateur. Cette opération s'effectue dans le vide afin d'obtenir une anticathode purgée le mieux possible de gaz, condition essentielle au bon fonctionnement du tube. Cette masse est portée au tour, amenée au calibre désiré, le tungstène mis à nu par quelques coups de lime. La tête ainsi obtenue et le corps de l'anticathode sont soudés électriquement dans le vide, avec une très grande rapidité.

La cathode s'obtient en étirant le tungstène en fil fin, opération facile étant donnée la ténacité de ce métal. Le filament est enroulé et monté dans sa cupule.

Les pièces en molybdène, découpées à l'emporte-pièce dans des tôles minces de ce métal, reçoivent leur forme définitive de presses disposées à cet effet.

Au début de la guerre, la construction de chaque anode exigeait une quantité de platine valant environ 20 dollars; le prix élevé, la rareté du platine venu des mines de Russie ont provoqué au Laboratoire de la Compagnie Générale Electrique de Shenectady des recherches couronnées de succès : Il a été obtenu un alliage fer-nickel, recouvert de cuivre, ayant le même coefficient de dilatation que le platine. Actuellement, il n'entre pas la moindre parcelle de platine dans la construction de ces ampoules.

Les recherches du Laboratoire de Shenectady portèrent également sur les procédés d'obtention du vide dans les tubes; nous avons déjà vu les précautions prises pour expurger l'anticathode de toute particule gazeuse. Pour obtenir le vide, il était employé jusqu'à ce jour les pompes Leybold's, les pompes moléculaires de Gaede,

nécessitant un travail long, un contrôle fréquent, un ouvrier habile.

Des recherches expérimentales de W. D. Coolidge, naquit un système d'extraction de gaz fort simple, permettant d'obtenir automatiquement ce que produisait l'ouvrier le plus expérimenté. En principe, le système consiste en un transformateur de haute tension connecté aux 2 extrémités du tube. En série avec le primaire de ce transformateur se trouve une grosse résistance servant à régler l'énergie. Le transformateur pour le filament est monté en parallèle avec le primaire de haute tension. Il en résulte que le courant du filament baisse quand la résistance du tube croît, c'est-à-dire quand le degré de vide augmente. Arrivé au degré de vide désiré, c'est-à-dire quand la pression résiduelle est au voisinage de 10^{-8} centimètres cubes de mercure, le courant filament, et conséquemment le courant de haute tension, s'arrêtent.

FONCTIONNEMENT DU TUBE COOLIDGE

Ce tube, nous l'avons dit, a un vide pratiquement parfait; en conséquence : 1° il ne présentera pas d'afflux cathodique, comme dans les ampoules à gaz raréfié, où c'est le choc de ces particules positivement électrisées qui libère la plus grande partie des électrons utilisés; 2° tout l'intérieur du tube sera à un potentiel négatif, que ce soit au centre ou à la périphérie du ballon, à l'inverse de ce qui existe dans les tubes antérieurement connus. De chacun de ces deux faits résulte un corollaire important.

A. — L'absence d'afflux cathodique entraîne la conséquence suivante : le nombre d'électrons dégagés dépendra uniquement de la température du filament cathodique, tandis que si le vide était moins parfait, 2 causes d'émission électronique s'ajouteraient : le bombardement par les corpuscules anodiques, la température du filament.

B. — Tout le ballon étant électrisé négativement dans le tube Coolidge, les rayons cathodiques secondaires, repoussés de partout viennent frapper les parties laté-

rales de l'anticathode. Dans les ampoules ordinaires, le choc de ces rayons cathodiques secondaires sur le verre du ballon produit dans tout l'hémisphère de la panse situé en avant du plan de l'anticathode une fluorescence verte qui indique que le tube est en action.

Toute cette zone verdâtre s'échauffe donc et produit un rayonnement X parasite ; tout se passe ici comme dans le tube de Crookes primitif, sans focus. — Rien de tel dans la Coolidge, donc pas de fluorescence du ballon : rien à l'œil n'indique le fonctionnement du tube, si ce n'est que l'anticathode rougit dans le tube Standard. De plus, le ballon s'échauffe peu, ce qui fait que les tubes Coolidge sont bien plus résistants que les tubes à gaz raréfié. — Enfin, il n'y a pas émission par le verre de la panse de rayons X parasites, nuisibles à la netteté de l'image photographique; les rayons secondaires cathodiques viennent frapper les parois de l'anticathode qui émettent des rayons de Roëntgen ; ce fait n'est d'ailleurs point particulier aux tubes Coolidge, il existe dans les autres tubes ; nous reviendrons sur ce point en étudiant le pouvoir séparateur des divers tubes.

Pour le moment, revenons à l'étude de notre source d'électrons, le filament spiral de la cathode. Ce filament, chauffé par le courant de basse tension, émet des électrons qui permettent à la décharge de passer entre les 2 électrodes du tube.

Le courant thermo-ionique qui prend ainsi naissance est fonction de la température absolue de la spirale chauffée, et ne dépend que d'elle, vu l'absence de tout afflux cathodique. Cette température absolue est déduite

de l'éclat intrinsèque du filament par centimètre carré d'aire projetée.

D'après l'équation de Richardson, l'intensité i de ce courant thermo-ionique est :

$$i = a\, T^{\frac{1}{2}}\, e^{-\frac{b}{T}}$$

Où T est la température absolue du filament, e la base du système naturel des logarithmes, a et b deux constantes.

Si nous négligeons provisoirement le facteur $e^{-\frac{b}{T}}$, nous voyons que c'est le carré de l'intensité qui varie avec la température absolue; aussi, à partir d'une certaine température, la moindre augmentation de celle-ci provoque un considérable accroissement du courant thermo-ionique.

a et b sont deux constantes, fixes pour une ampoule déterminée; d'après les recherches de Langmuir $a = 27 \times 10^6$ ampères par centimètre carré; $b = 35.600$ degrés, ceci pour un degré de vide très poussé. Mais si l'on augmente ce degré de vide, on voit que la valeur de a s'accroît, tandis que celle de b diminue, ces 2 modifications aboutissent au même résultat, l'augmentation de l'émission d'électrons pour une même température du filament. Toujours, d'après Langmuir, l'étude expérimentale de cette fonction a montré que la courbe expérimentale ne suit celle de Richardson qu'aux températures relativement basses, puis s'en écarte peu à peu, et vers 2.200° présente un palier. A partir de ce moment, il est inutile d'augmenter la température du filament, l'intensité du courant thermo-ionique reste constante. De

plus, ce même auteur a démontré que, si aux basses températures, l'action seule de cette température est efficace, au delà de 2000° d'autres influences se font sentir : voltage de l'anode, surface de l'anode, distance anode-cathode, présence d'un champ magnétique. Enfin l'expérience nous apprend et la formule précédente nous explique que la moindre variation dans le diamètre du filament crée une grosse variation d'intensité.

En fait, malgré les filières perfectionnées, les multiples précautions prises, il n'y a pas 2 filaments comparables, ce qui d'ailleurs n'a aucune conséquence fâcheuse au point de vue de la pratique médicale, mais cette sensibilité a permis de créer une méthode de mesure d'une très grande exactitude pour le diamètre des fils métalliques.

RAYONNEMENT X
ÉMIS PAR LE TUBE COOLIDGE

Les conditions simples du fonctionnement du tube Coolidge avaient fait supposer au début que ce tube, alimenté par un courant constant de haut potentiel donnerait un faisceau X monochromatique dont la longueur d'onde dépendrait du voltage du courant utilisé. Cette opinion était basée sur l'idée de Villard attribuant l'hétérogénéité du faisceau cathodique à la complexité des décharges électriques.

D'après Strutt d'ailleurs, une ampoule à gaz raréfié utilisée sur une source constante (accumulateurs) donnerait un faisceau cathodique homogène, et un rayonnement X monochromatique. Quelques mesures hâtives semblèrent au début confirmer cette hypothèse ; nous savons aujourd'hui qu'il n'en est rien. L'étude de la composition d'un faisceau de rayon X peut être faite par divers procédés ; l'un des plus couramment employés est la méthode des filtrations : on interpose sur le trajet du faisceau X des filtres, c, a, d, des lames de subs-

tances plus ou moins perméables aux rayon Roentgen et d'épaisseur croissante, les filtres absorbent des doses variables de rayon X et en retiennent d'autant plus, pour une substance considérée, que l'épaisseur est plus forte, et que la longueur d'onde des radiations étudiées est plus grande. La substance la plus souvent usitée est l'aluminium ; son degré de radiochroïsme élevé, son faible poids atomique qui permet d'employer des lames d'épaisseur considérable (donc facile à mesurer), tout en laissant passer une quantité suffisante de rayon X en font une substance de choix pour cet usage. Comme il est assez facile d'obtenir des lames d'aluminium pur, et d'épaisseur bien déterminée, il s'ensuit que les filtres habituellement usités sont bien comparables entre eux.

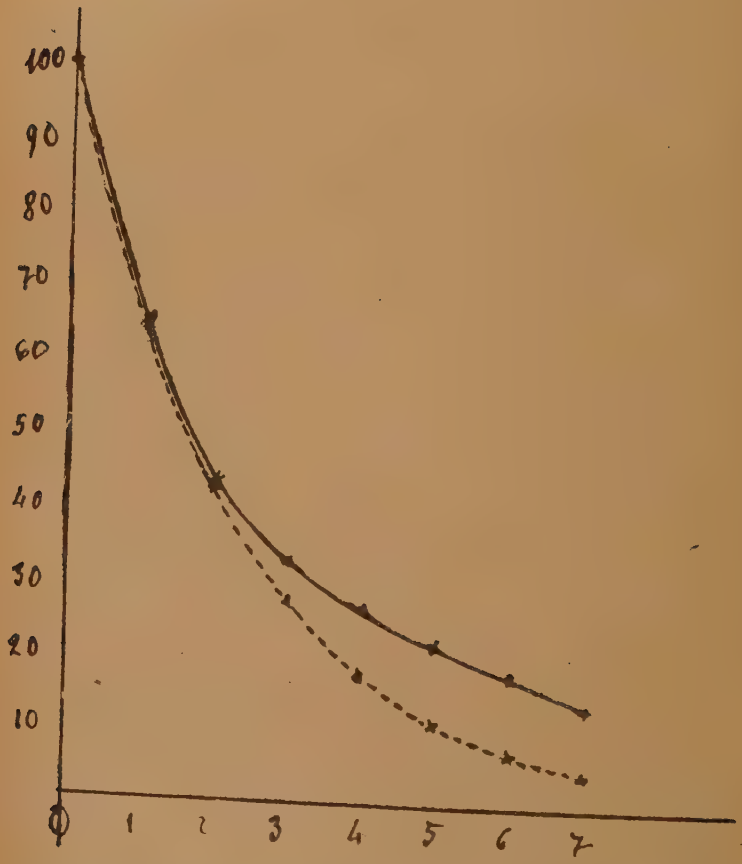
Or, si notre faisceau X était monochromatique, l'intensité de la radiation émergente irait décroissant en progression géométrique quand l'épaisseur du filtre traversé irait en progression arithmétique, et répondrait à la formule :

$$Ix = Io\, e^{-\mu x}$$

Io = Intensité incidente à l'arrivée sur le filtre.
Ix = Intensité émergente à la sortie du filtre.
x = Épaisseur du filtre.
μ = Coefficient d'absorption (constant).

Il n'en est rien ; pour s'en rendre compte, il suffit de jeter les yeux sur la courbe ci-contre ; en effet, la courbe expérimentale n'est pas une courbe d'exponentielle, mais celle d'une somme d'exponentielles.

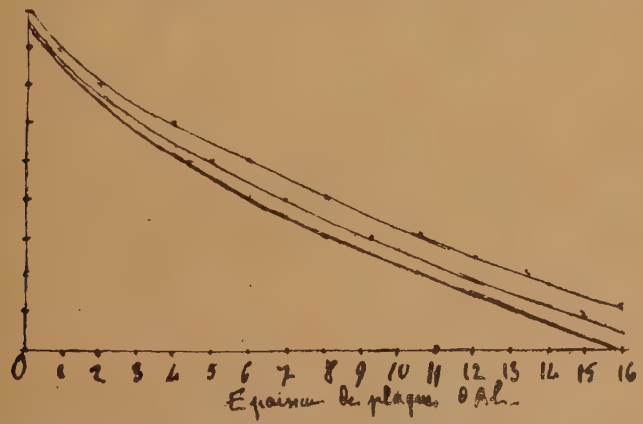
Les expériences de Duane et Hunt furent faites avec



Trait continu = Courbe expérimentale obtenue avec contact tournant Drault et tube Standard 1 mil. 20 cm. et. eq.
Trait pointillé = Courbe théorique.

un tube Coolidge alimenté par un courant de haute tension fourni par une batterie d'accumulateurs. Le rayonnement obtenu fut étudié par la méthode de filtration, la mesure de l'intensité X par ionisation.

Pour rendre leurs graphiques plus explicites, ces auteurs portèrent en abcisses les épaisseurs croissantes de filtre, en ordonnées non l'intensité de la radiation, mais le logarithme de cette intensité, de la sorte, quand le faisceau est monochromatique, la courbe ainsi obtenue est une droite. Or, sur leurs tracés, les courbes présentent toutes une convexité nette sur l'axe des abcisses, le rayonnement ne devient monochromatique qu'avec des filtrations élevées 9 à 10 millimètres d'aluminium, mais à partir de 5 à 6 millimètres d'aluminium, les variations du coefficient d'absorption sont peu marquées



Graphique de Duane et Hunt. En abcisses : Epaisseur des filtres. En ordonnées : Logarithme des courants d'ionisation.

Une méthode plus précise et plus fertile en résultats a été employée par M. de Broglie, méthode basée sur la

théorie de Bravais concernant la constitution de cristaux; d'après cette théorie, le cristal se ramènerait à un assemblage de plans réticulaires, d'où la possibilité de les utiliser comme réseaux assez fins pour diffracter des vibrations d'aussi courte longueur d'onde que sont les Rayons X.

Le cristal serait donc composé d'un triple système de plans parallèles, définissant des parallélipipèdes élémentaires, dont les sommets sont les nœuds du réseau. Les constantes de ce réseau seraient de l'ordre de 10^{-8} centimètres, c'est-à-dire de celui des intervalles qui séparent les molécules dans les corps solides.

En 1912, Friedrich et Knipping étudièrent la diffraction avec un cristal de blende; plus tard, les frères Bragg montrèrent qu'un faisceau X, frappant très obliquement une surface cristalline, subissait la réflexion régulière. Von Laue, Wolf, Friedel, montrèrent que ce phénomène n'est que la conséquence du premier, mais la question apparut sous un jour un peu différent : le cristal était considéré comme formé de plans réticulaires régulièrement empilés, chaque plan était un réseau croisé à 2 dimensions qui réfléchit le rayon incident, mais la présence de couches parallèles équidistantes par suite d'un phénomène d'interférence, renforce certaines vibrations de longueur d'onde appropriée, répondant à la formule.

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

n = nombre entier, λ = longueur d'onde d = équidistance des plans. θ = complément de l'angle d'incidence.

Ce fait, mis en évidence par M. de Broglie, montre qu'un cristal se comporte vis-à-vis des Rayons X comme un assemblage de miroirs diversement inclinés, dont chacun est capable de réfléchir avec intensité des rayons de longueur d'onde déterminée.

Les faisceaux diffractés sont assez intenses pour être mesurés par ionisation. La chambre d'ionisation étant placée sur l'alidade d'un goniomètre, on voit qu'à certaines longueurs d'onde correspondent de fortes intensités, qui font songer aux raies des spectres d'émission. Or, ces raies sont constantes pour une matière donnée qui sert de foyer d'émission, et la caractérisent.

M. de Broglie a pu créer une méthode spectographique donnant directement ces spectres d'émission, avec leurs raies caractéristiques, comme dans la spectroscopie ordinaire. Pour obtenir ce résultat, il suffit de diriger ces faisceaux X, passant à travers une fente étroite, sur un cristal (sel gemme) tournant de telle façon que la face du cristal qui sert de miroir contienne l'axe de rotation parallèle à la fente, et que le faisceau soit centré sur cet axe.

Si l'on connaissait la valeur de l'équidistance des plans cristallins, d, on aurait directement la valeur de λ. Or les calculs et les expériences de Bragg dont donné :

$$d = 2{,}81 \times 10^{-8} \text{ centimètres.}$$

Les spectres obtenus ainsi par M. de Broglie présentent :

1° Les raies caractéristiques du tungstène, raies de la série K.

2° Un spectre continu s'étendant très loin du côté des faibles longueurs d'onde, fait très intéressant au point de vue de la radiothérapie. Les longueurs d'onde les plus courtes observées furent égales à 6×10^{-10} centimètres. Or, depuis cette longueur jusqu'à 10^{-8} centimètres, nous voyons qu'il existe toute une gamme de radiations fournies soit par le radium, soit par les tubes Coolidge; l'analogie des effets curateurs de la radiumthérapie et de la radiothérapie se comprennent aisément.

Cette question de la longueur d'onde minima obtenue avec les tubes Coolidge a vivement intéressé les physiciens; de leurs recherches découlent des notions importantes pour le radiothérapeute; aussi nous y arrêterons-nous un bref instant.

Les plus importants travaux furent entrepris par Sir Rutherford. M. Barnes et M. Richardson : ils employèrent la méthode des filtrations : nous avons plus haut, en relatant des travaux de Duane et Hunt que le faisceau de Rayons X émis par un tube Coolidge n'était pas homogène; si l'on mesure l'intensité X résiduelle après passage à travers des filtres d'aluminium d'épaisseur arithmétiquement croissante, nous voyons que l'absorption, très forte pour les premiers millimètres, va en diminuant; à partir d'une certaine épaisseur, on constate que l'intensité du faisceau émergeant va en décroissant géométriquement, alors que l'épaisseur des filtres croît arithmétiquement. A ce moment, μ est constant, le faisceau peut être considéré comme homogène pratiquement. Prenons un exemple : soit un faisceau X,

préalablement épuré par une filtration suffisante ; ce faisceau tombe sur une lame d'aluminium de 1 millimètre d'épaisseur. Si cette lame laisse passer $\frac{83}{100}$ du rayonnement incident, une lame de 2 millimètres laissera passer $\left(\frac{83}{100}\right)^2$, une lame de 3 millimètres $\left(\frac{83}{100}\right)^3$, une lame de n millimètres $\left(\frac{83}{100}\right)^n$ du faisceau incident. A partir de ce moment, le faisceau X peut être considéré comme pratiquement monochromatique, son coefficient d'absorption est constant, et égal dans le cas considéré à $\frac{83}{100}$. Or, il existe un rapport entre ce coefficient d'absorption que nous désignerons par la lettre μ et la longueur d'onde λ, relation exprimée par la formule.

$$\mu = K \lambda^{\frac{5}{2}}$$

reconnue exacte par Bragg, vérifiée par les recherches spectrographiques de Rutherford depuis $\lambda = 0{,}615 \times 10^{-8}$ jusqu'à $\lambda = 1{,}06 \times 10^{-9}$ ces derniers rayons étant des rayons γ du radium.

Or, donc ces auteurs recherchèrent les variations de μ avec le voltage ; ils opérèrent par les voltages, relativement bas avec une machine de Wimshurst, jusqu'à 115 kilovolts. Ne pouvant dépasser ce voltage, ils utilisèrent ensuite une bobine d'induction. Fait remarquable, la bobine, utilisée au même voltage que la machine statique ne produit pas une plus forte proportion de rayons mous que la machine statique. Ce fait, de prime abord paradoxal, se comprend aisément si, au lieu de

considérer la courbe classique que donne le courant d'une bobine en circuit ouvert, courbe que l'on rencontre tracée dans tous les livres, on examine les graphiques des tensions obtenues quand la bobine fonctionne sur un tube Coolidge dont le filament est modérément chauffé, et dont les électrodes sont soumises à une grande différence de potentiel, ainsi que l'a expérimenté Dauvillier.

Quoi qu'il en soit, ces 3 physiciens poussèrent leurs expériences jusqu'à 175 kilovolts, et aboutirent aux conclusions suivantes : Le coefficient d'absorption μ décroit rapidement d'abord à mesure que le voltage augmente, puis cette décroissance s'atténue peu à peu, pour être nulle à partir de 145 kilovolts. A partir de ce moment donc, la longueur d'onde minima serait fixe et égale à $\lambda = 1{,}71 \times 10^{-9}$ centimètres c'est-à-dire à 0 $\mu\mu$ 017. Sir Rutherford suppose que cette longueur d'onde minima serait la longueur d'onde de la radiation caractéristique K du métal employé (tungstène)

Si nous considérons que pour le radium C $\mu = 0.115$ et que pour le radium B $\mu = 0{,}51$, nous voyons que le tube Coolidge pourrait émettre des radiations dont le coefficient d'absorption est $\mu = 0.39$, c'est-à-dire plus pénétrantes que celles du radium B et de pouvoir de pénétration égale aux 3 10 de celui du radium C. Rien d'étonnant donc si nous constatons des effets biologiques analogues obtenus par radiumthérapie et roentgenthérapie.

De l'étude des courbes données par ces auteurs, nous pouvons encore tirer d'autres conclusions : Pour obtenir

un rayonnement monochromatique, une filtration très forte est nécessaire, d'autant plus forte que le voltage employé est plus élevé; néanmoins à partir de 10 millimètres, les variations de μ sont peu sensibles, même à 95.000 volts.

Duane, Hunt et Webster utilisèrent la méthode spectrographique de M. de Broglie à laquelle ils associèrent des mesures quantitométriques faites selon le procédé habituel de l'ionisation. Par ce procédé, il est possible de mesurer l'intensité de rayonnement émis par chaque longueur d'onde, cette longueur étant obtenue par la formule $\lambda = 2\ a \sin \theta$, θ étant l'angle de réflexion de la radiation étudiée, et a une constante égale à $3{,}04 \times 10^{-8}$.

Si, avec un tel dispositif expérimental, on étudie l'intensité de chaque radiation pour un voltage déterminé, fixe, on constate que toutes les radiations ne fournissent pas la même intensité d'énergie X, cette énergie, d'abord faible pour les radiations de grande longueur d'onde, augmente à mesure que la longueur d'onde décroît, passe par un maximum, et décroît ensuite brusquement et tombe à zéro. Il existe donc dans le rayonnement du tube Coolidge pour chaque voltage considéré, une longueur d'onde pour laquelle l'intensité est minima, en un mot, il y a une longueur d'onde dominante, qui n'est pas la plus courte longueur d'onde émise par le tube, mais qui en est assez voisine; en tout cas, cette longueur d'onde se rapproche beaucoup plus de l'onde la plus courte que de l'onde la plus longue; aussi, en radiothérapie, la radiation efficace sera celle qui correspond, non à la fréquence maxima, mais

celle qui répond à la longueur d'onde dominante X.

Si, au lieu d'utiliser un voltage constant, nous le faisons varier, et que l'on étudie successivement les variations d'énergie fournie pour chaque radiation, on s'aperçoit qu'une radiation déterminée, inexistante au-dessous d'un voltage donné, apparaît quand cette différence de potentiel est atteinte, et croît ensuite régulièrement à mesure que s'accentue la différence de potentiel. Il existe donc pour chaque radiation de longueur d'onde déterminée un voltage critique au-dessous duquel cette radiation est totalement absente. Les expériences de Duane et Hunt ne furent effectuées qu'à des voltages relativement peu élevés, 25-40 kilovolts, mais elles nous montrent toute l'importance qu'il y a pour les radiothérapeutes à posséder un tube capable de fonctionner régulièrement sous une grande différence de potentiel. Or, les tubes Standard actuels sont capables de supporter sans faiblir des différences de 100.000 volts, qui mettraient rapidement hors d'usage les tubes à gaz raréfiés.

Nul doute que l'on n'arrive plus tard à leur imposer un voltage de 150.000 volts, les expériences précitées de Rutherford pourraient nous faire penser qu'il sera inutile d'essayer des voltages supérieurs, mais des expériences plus récentes semblent infirmer cette hypothèse ; néanmoins, au delà de 150.000 volts, le gain reste peu appréciable ; il deviendrait fort difficile de protéger l'opérateur et le malade, l'isolement devenant très délicat à ces différences énormes de potentiel. Même à 100.000 vols (qui correspondent à 25-28 cen-

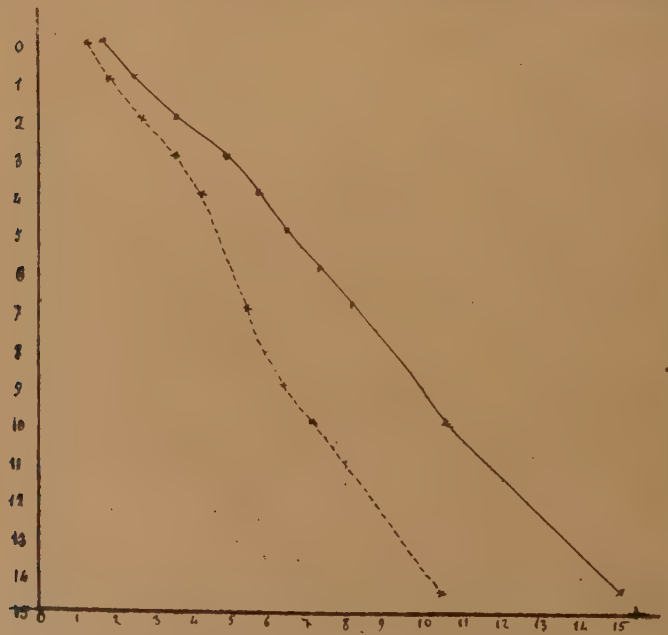
timètres d'étincelle équivalente), certaines précautions s'imposent dont nous parlerons plus loin.

Avant d'abandonner ce chapitre de la composition du faisceau X des tubes Coolidge, il nous faut les comparer aux rayons émis par les tubes à gaz raréfiés. Nous avons vu que le faisceau X des tubes Coolidge est hétérogène, mais une question se pose: est-il de même composition que celui des tubes antérieurement utilisés; c'est ce que nous avons essayé d'étudier; pour apprécier cette composition, nous nous sommes adressés à la méthode des filtrations progressives, et nous avons mesuré l'intensité du faisceau émergent au moyen du fluoromètre du Dr Guilleminot. Afin d'éviter autant que possible des erreurs d'appréciation inhérentes à toute méthode photométrique, nous avons effectué 10 lectures pour chaque mesure, et pris la moyenne des chiffres obtenus. Disons, à ce propos, que la constance du tube Coolidge facilite grandement les lectures, nos écarts étaient beaucoup plus faibles avec ce tube qu'avec des tubes à gaz raréfiés, l'un des reproches que l'on pouvait adresser à cet appareil, celui de n'être pas un appareil intégrateur, disparaît donc avec l'emploi des nouveaux tubes, grâce à leur constance, à leur régularité de marche.

Voici, sous forme de tableau, les chiffres obtenus au cours de cette expérience, faite avec les 4 tubes suivants : Villard Thurneyssen, Pilon OM, Coolidge Standard, Coolidge Radiateur. Tous quatre ont été expérimentés à 1 milliampère et 12 centimètres d'étincelle équivalente.

ÉPAISSEUR FILTRE	0	1	2	3	4	5	6	7
Tube Chabaud	134	78	49	34	26	20	17	14
Tube Coolidge Standard	120	60	38	27	18	13	10	7
Tube Pilon O. M. . . .	90	48	30	19	10	6		
T. Coolidge Radiateur.	80	48	32	22	15	11	7	

Si nous construisons les 4 courbes représentant ce tableau, nous voyons aussitôt que la composition



Courbes comparatives obtenues { avec pastille (trait plein). / avec fluoromètre (trait pointillé).

moyenne du faisceau X est identique dans les tubes à gaz raréfié et le tube Coolidge Standard, tandis que le tube Cooligde Radiateur a un faisceau plus homogène, moins riche en rayons mous.

RENDEMENT DU TUBE COOLIDGE

On nomme rendement le rapport de l'énergie roentgénienne à l'énergie cathodique. Les premiers travaux effectués sur ce point sont ceux de Wien en 1902, d'Angerer et Carter en 1906. Ces auteurs mesurèrent l'effet calorifique des rayons et trouvèrent que le rendement est de l'ordre de 1 p. 1000.

Beatty, en 1913, en absorbant les radiations par des vapeurs d'iodure de méthyle et en mesurant l'ionisation totale produite, démontra que, quand la radiation caractéristique n'est pas excitée, l'énergie X est proportionnelle à la 4e puissance de la vitesse des rayons cathodiques, et proportionnelle au poids atomique A du radiateur, et il établit l'équation :

$$\frac{\text{Energie X}}{\text{Energie cathodique}} = 2.54\ A\ \beta^2.$$

A étant le poids atomique de l'anticathode; β la vitesse des rayons cathodiques mesurée en fraction de vitesse de la lumière prise pour unité.

Donc, on voit de suite quelle utilité il y aura à prendre comme anticathode un métal à poids atomique élevé, platine, tungstène. Une deuxième remarque : le rapport considéré croît avec *le carré* de la vitesse des particules cathodiques. Or cette vitesse dépend de la différence de potentiel aux bornes du tube. Le rendement sera donc très variable selon le voltage utilisé dans le tube.

Rutherford et Barnes, en 1915, reprirent ces travaux, mais tandis que Beatty n'avait utilisé que des différences de potentiel ne dépassant pas 23.000 volts aux bornes du tube, ces auteurs opérèrent avec des tensions allant de 48.000 à 96.000 volts, qui sont donc celles utilisées habituellement en radiologie. Ils trouvèrent un rapport 3 fois plus petit que ne le laissait prévoir la formule de Beatty :

$$\frac{I_1}{I_2} = 0{,}58\ A\ \beta^{\cdot}.$$

I_1 étant le courant d'ionisation après l'absorption complète de la radiation, I_2 étant le courant passant dans l'ampoule. L'écart constaté est dû pour la plus grande part à l'absorption des rayons mous par le verre du tube.

Connaissant I_1, l'énergie X peut être connue si l'on connaît l'énergie nécessaire pour produire 1 paire d'ions. Or il résulte des travaux de Geiger, de Rutherford et Robinson que cette énergie est égale à l'énergie acquise par la charge-unité se mouvant librement à travers une différence de potentiel de 33 volts.

Nous avons donc :

$$R = \frac{\text{Energie X}}{\text{Energie cathodique}} = \frac{I_1\, \varphi}{I_2\, V}$$

φ étant égal à 33 volts; V étant le voltage appliqué à l'ampoule.

VOLTAGE	$\frac{i_1}{i_2}$	RENDEMENT	B^2	RENDEMENT
48.000	0,86	$0,59 \times 10^{-3}$	0,265	$3,6 \times 10^{-3}$
64.000	1,44	$0,74 \times 10^{-3}$	0,211	$3,5 \times 10^{-3}$
96.000	3,01	$1,01 \times 10^{-3}$	0,292	$3,6 \times 10^{-3}$

Dans ces conditions, $R = \frac{1}{800}$ pour 48.000 volts et $\frac{1}{500}$ pour 96.000 volts, et encore faut-il ajouter que ce chiffre est trop faible encore, étant donnée la diminution de sensibilité qui se produit quand on mesure l'intensité de rayonnement de courtes longueurs d'onde par la méthode d'ionisation.

Si nous voulons comparer le rapport de l'énergie électrique dépensée dans le tube à celle produite par le faisceau X, il suffira de nous rappeler que la vitesse des électrons croît proportionnellement à la différence de potentiel établie entre les électrodes; nous aurons donc :

$$\text{Energie X} = K.\, E^2\, T.$$

K étant une constante établie pour chaque tube et dépendant particulièrement de la nature de l'anticathode. Remarquons que, au lieu de mesurer E, ce qui

nécessite l'emploi délicat d'un voltmètre électrostatique d'Abraham et Villard, on peut, pour les mesures approchées, se servir du spintermètre; en effet, pour une même installation les longueurs d'étincelle sont proportionnelles à la différence de potentiel utilisé; afin de donner une idée de l'ordre de grandeur de ce rapport, nous reproduisons ici le tableau des radiologistes de l'armée américaine :

VOLTAGE (en kilovolts efficaces).	LONGUEUR D'ÉTINCELLE ÉQUIVALENTE	DEGRÉ BENOIST
26	1 inche 5 = 3 cm. 7	
31	2 inches = 5 cm.	3° B
36	2 inches 5 = 6 cm. 25	4° B
41	3 inches = 7 cm. 50	
46	3 inches 5 = 8 cm. 75	5° B
51	4 inches = 10 cm.	
56	4 inches 5 = 11 cm. 25	6° B
61	5 inches = 12 cm. 50	
66	5 inches 5 = 13 cm. 75	
71	6 inches = 15 cm.	
76	6 inches 5 = 16 cm. 25	7° B
81	7 inches = 17 cm. 50	
86	7 inches 5 = 18 cm. 75	
91	8 inches = 20 cm.	
110	10 inches = 25 cm.	

Comme on le voit chaque accroissement de 1 centimètre de la longueur de l'étincelle équivalente correspond à une augmentation de 4.000 volts. Ceci nous montre aussi combien, pour les hauts voltages surtout, l'étincelle équivalente donne un renseignement que ne pourrait fournir le radiochromomètre dont la sensibilité est insuffisante.

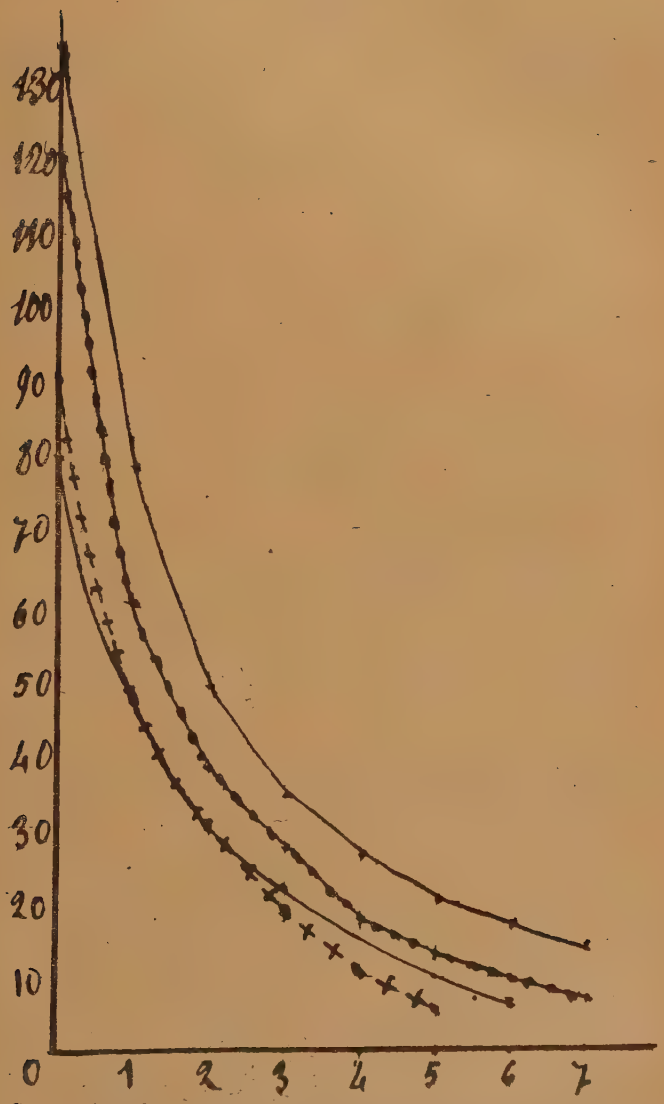
Nous pouvons donc écrire :

Energie $X = K' L^2 I$.

En n'attachant à cette équation qu'une valeur approximative. En effet, pour une même installation K' varie avec l'état hygrométrique de l'air, l'état de propreté des pointes, le degré d'ionisation de l'atmosphère de la salle, etc. Entre deux types d'appareils la différence est encore plus grande; il est vrai qu'elle pourrait être corrigée si les constructeurs ou bien vendaient leurs appareils étalonnés, c'est-à-dire avec un tableau indiquant le rapport $\frac{\text{étincelle}}{\text{voltage}}$, ou bien construisaient des spintermètres à boule permettant d'utiliser les tables de Villard ou de Steinmetz.

La comparaison de la constante K' fournie par divers tubes est fort intéressante, car elle est l'expression d'une sorte de rendement pratique du tube considéré. Pour que cette comparaison ait quelque valeur, il faut soumettre les tubes étudiés au même voltage et à la même intensité de courant.

Le Professeur Cluzet, de Lyon, opérant avec des tubes fonctionnant sur la même installation avec 1 milliampère 5 d'intensité et 10 cm. 5 d'étincelle équivalente



Comparaison du rayonnement de divers tubes sur contact tournant :
1 millimètre — 12 centimètres Etincelle.

Ligne continue supérieure = tube Chabaud ; Ligne pointillée = tube Coolidge Standard ; Ligne croisillée = tube Pilon O.M.I. ; Ligne continue inférieure = tube Coolidge radiateur.

pendant une minute, a trouvé, en effectuant ses mesures par la méthode d'ionisation (en étudiant la durée de la chute de la feuille d'or d'un électroscope) les chiffres suivants d'énergie X, exprimée en unités électrostatiques :

Petit tube Chabaud	25
Tube Pilon	23
Grand Coolidge	12
Petit Coolidge	7

D'après cet auteur donc, un tube Standard ne donnerait que la moitié du rayonnement d'un tube Pilon ou Chabaud, et un Coolidge Radiateur, un peu plus du quart du rayonnement fourni par le tube Chabaud.

Opérant au moyen du fluoroscope du Docteur Guilleminot, nous avons obtenu, en utilisant un contact tournant de Drault, donnant 1 milliampère et 12 centimètres d'étincelle équivalente, les résultats suivants : (Voir tableau, page 59).

NATURE DU TUBE	ÉPAISSEUR DE FILTRE en mm. d'aluminium.								
	0	1	2	3	4	5	6	7	
Chabaud Villard	130	78	49	34	26	21	17	14	Quantité X en unité M
Coolidge Standard.	119	60	38	26	18	13	10	7	
Pilon O. M	89	48	30	19	11	6			
Coolidge Radiateur	79	48	30	22	15	10	6		

Ces chiffres assez différents de ceux du Professeur Cluzet, ne s'en éloignent pas autant qu'il paraît au premier abord ; en effet :

La grande différence obtenue porte sur le tube Pilon, or il est certain que le tube Pilon employé par le Professeur Cluzet était le petit tube à cathode incandescente, tandis que nous avons utilisé un tube OM_2, à anticathode refroidie. Or, il est un fait constaté par tous les radiologistes, c'est qu'à faible régime, et en opérant dans les mêmes conditions électriques, la quantité de rayonnement X fournie est beaucoup plus faible avec les tubes à anticathode refroidie ou massive qu'avec des tubes à anticathode incandescente. Il serait intéressant de savoir si la radiation K du métal de l'anticathode est plus fortement excitée dans ce dernier cas que dans le premier. Quoi qu'il en soit, ces mesures sont d'accord avec ce fait qu'il est facile de pratiquer les examens radioscopiques courants avec un petit tube à anticathode incandescente fonctionnant à 1 milliampère et 6°-7° B, alors que l'examen est totalement impossible dans ces conditions avec 1 tube à anticathode massive ou refroidie à quelque modèle qu'il appartienne. Le rendement supérieur du tube Chabaud tient encore à un autre fait : la nature de son anticathode qui est en platine. Or, si nous nous reportons à l'équation I de Beatty précédemment citée nous voyons que le rendement varie proportionnellement au poids atomique de l'anticathode. Jetons un coup d'œil sur le tableau suivant, emprunté à Coolidge et Moore, et nous constaterons que le rendement croît avec le poids atomique du radiateur et lui est à peu

NATURE MÉTALLIQUE	POIDS ATOMIQUE	INTENSITÉ RADIATION
Platine.	195,2	100
Tungstène	184	91
Molybdène	96	50
Cuivre.	63,6	33
Aluminium	27	10

près proportionnel. Si nous nous reportons au tableau du rendement comparé des ampoules Standard-Chabaud, nous voyons que dans les mêmes conditions électriques la Standard donne 119 M et la Chabaud 130 M dans l'unité de temps. Or :

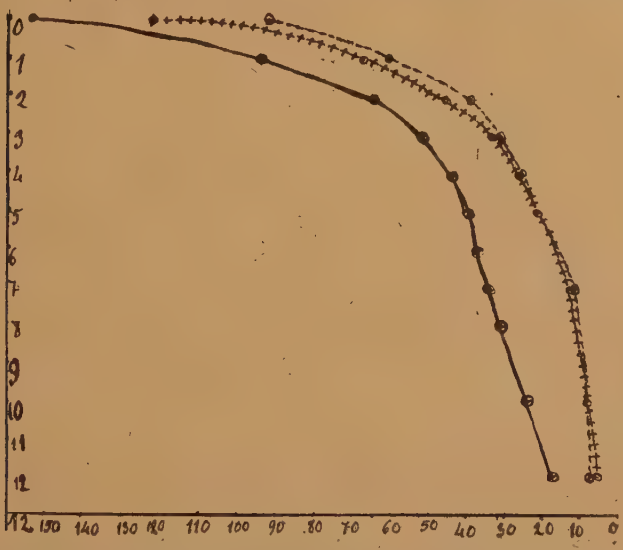
$$\frac{119}{130} = 0{,}917.$$

Le tableau ci-dessus de Coolidge faisait prévoir 0,91.

La différence entre les chiffres que nous avons obtenus et ceux indiqués par le Professeur Cluzet tiennent fort probablement à la méthode employée. Il est un fait bien connu, c'est que les appareils de mesure par ionisation sont moins sensibles à mesure que la longueur d'onde du rayonnement étudié est plus courte; au contraire, si l'on utilise le fluoromètre, les radiations molles sont absorbées par l'épaisse couche d'air interposée, et c'est pour les grandes longueurs d'onde que cet appareil perd un peu de sa sensibilité. (V. tabl. p. 52.

La même divergence, s'observe quand on compare les valeurs obtenues pour une même installation et les mêmes constantes électriques, en opérant avec le fluoromètre et la pastille Sabouraud, Noiré; c'est ce que montre la courbe suivante que nous empruntons au Docteur Solomon.

Pour le petit tube Coolidge radiateur, nous avons



En ordonnée : épaisseur des filtres d'aluminium ; En abcisse : temps pour obtenir la teinte B (625 M.) ; Courbe supérieure obtenue avec la pastille Sabouraud ; Courbe inférieure obtenue avec le Fluoromètre.

trouvé que son rendement est inférieur à celui d'un tube Standard. Nous avons signalé l'une des causes du phénomène : l'anticathode est massive. L'examen des courbes comparant les diverses ampoules nous montre que ce type de Coolidge a un rendement légerement inférieur aux ampoules intensives à gaz raréfiés, mais

que le faisceau X de cette Coolidge est plus homogène, si bien que la partie absorbée du rayonnement est moins élevée; aussi avec une filtration de 1 millimètre d'aluminium, la même quantité de rayonnement émerge du filtre, que l'on emploie une Coolidge radiateur, ou un tube O.M. A partir de 3 millimètres l'avantage est à la Coolidge. Si nous nous souvenons que 1 millimètre d'aluminium retient à peu près autant de rayonnement que 1 centimètre de tissus mous (peau, muscles), nous pouvons conclure que le rayonnement émergeant du membre à radiographier, le seul utile, capable d'impressionner la plaque ou d'illuminer l'écran fluorescent, est aussi important, sinon plus, dans le cas du Coolidge; donc son rendement pratique, au point de vue du radiodiagnostic, est au moins égal à celui des tubes intensifs à gaz raréfiés.

De même, au point de vue de la radiothérapie profonde, ce qui importe, c'est le rendement d'un tube fonctionnant au plus haut voltage qu'il est capable de supporter. Or, le tube Standard peut fonctionner sans altération sous une tension de 100.000 volts, d'une façon continue, ce que ne peut subir aucun autre tube. Ce fait nous autorise donc à dire que, si à un voltage déterminé, le rendement d'une Standard est inférieur à celui d'une Chabaud, en pratique il est meilleur parce qu'il peut supporter une plus grande différence de potentiel. En effet, intervient ici un autre facteur : l'endurance du tube, que nous allons envisager.

ENDURANCE DES TUBES COOLIDGE

Il faut, dans l'étude de l'endurance d'un tube, examiner 2 points :

Sa résistance à l'intensité.

Sa résistance au voltage.

A ce double point de vue, les tubes Coolidge peuvent être classés en 2 groupes :

1° Les tubes à radiateur, sélectionnant eux-mêmes leur courant.

2° Les tubes non sélecteurs, ou imparfaitement sélecteurs, non munis de radiateurs, dont le type est le modèle Standard.

Considérons d'abord le cas des tubes à radiateur : Tous sont construits de telle façon qu'ils ne peuvent supporter sans dommage une différence de potentiel de plus de 96 K. V. maxima, soit environ 65 K. V. efficace qui correspondent à 12-13 centimètres d'étincelle équivalente.

La résistance à l'intensité varie avec le modèle considéré, c'est-à-dire avec la largeur du point d'impact.

Dans les tubes à point d'impact fin, il est bon, pour ne pas nuire au tube, de ne pas lui faire admettre plus de 10 milliampères, pendant le temps nécessaire pour les plus longues radiographies; en scopie, il supporte 3 milliampères. En radiographie rapide, on peut faire admettre 20 milliampères au tube pendant 2 secondes.

Dans les tubes radiateurs à point d'impact moyen, on peut faire passer 30 milliampères dans le tube pendant 10 secondes avec une étincelle équivalente de 5 inches.

Enfin les tubes radiateurs à point d'impact large supportent 30 milliampères avec une étincelle équivalente de 7 inches pendant le même temps.

Si nous restons dans ces limites, la vie du tube est pour ainsi dire infinie; au bout de plusieurs mois, d'après W. D. Coolidge, l'anticathode n'est même pas dépolie; si, par mégarde, on dépassait les limites indiquées, ce qui est à déconseiller, le tube en souffrirait peut-être, mais ne serait pas nécessairement mis hors d'usage : tel l'exemple que nous a cité M. H. Beclère, d'un tube marqué 10 milli, qui fut soumis à 60 milli, pendant quelques secondes, et qui ne fut pas mis hors de service par ce fonctionnement anormal.

Si nous considérons maintenant la résistance du type Standard, elle dépasse celle des appareils en usage : sa résistance au voltage atteint 100.000 volts, soit 25 centimètres environ d'étincelle équivalente; sa résistance à l'intensité dépasse celle des transformateurs les plus puissants, pour la radiographie.

En régime continu, ce modèle peut supporter 6 à 8 milliampères sous une différence de potentiel de

100.000 volts ; pendant plusieurs minutes, il tient 20 milliampères sous 90.000 volts. Il dépasse donc largement les exigences de la radiothérapie et de la radiographie rapide. La limite de sécurité est donnée par la teinte que prend la tige de molybdène soutenant l'anticathode : elle ne doit pas rougir à plus de 3 centimètres de son support d'acier.

Cette limite est d'ailleurs très difficile à atteindre; en effet, la chaleur de l'anticathode est éliminée par radiation, et celle-ci croît dans de très grandes proportions quand la température s'élève.

Cette possibilité d'utiliser ces tubes à un voltage de 100.000 volts est d'une importance capitale en radiothérapie. Grâce à ce fait, nous pouvons, tout en ayant des séances d'une durée courte, utiliser des filtres d'aluminium de 5 millimètres, 12 millimètres d'épaisseur, et éliminer ainsi les rayonnements de grande longueur d'onde qui s'arrêtent dans les couches superficielles. Enfin, à ce haut voltage prennent naissance des rayons X de très courte longueur d'onde, comparables aux rayons γ du radium, dont le coefficient d'absorption est peu élevé; aussi, tout en conservant l'intégrité de la peau, sans dépasser le chiffre de 25 M absorbés par elle, limite fixée par le Docteur Guilleminot, nous pouvons envoyer dans la profondeur des rayons X en quantité bien supérieure à celles que nous faisions parvenir avec les meilleurs tubes à gaz raréfiés, qui ne pouvaient supporter sans faiblir une tension supérieure à 16 — 18 centimètres d'étincelle équivalente :

Détail intéressant : la durée d'un tube Coolidge est

bien plus longue que celle des tubes à gaz raréfiés; au service du Docteur Béclère, plus de 10 de ces tubes ont été mis hors d'usage, alors que le même tube Standard continue à fonctionner parfaitement.

Nous venons de voir quelle était l'endurance du tube Coolidge; passons maintenant à l'étude d'une autre de ses propriétés : sa constance.

CONSTANCE DU TUBE COOLIDGE

Si nous nous souvenons du fonctionnement d'une ampoule à gaz, nous constatons que son degré de vide varie sans cesse, entraînant des modifications parallèles dans l'intensité et la dureté du faisceau de rayons X émis. Si bien surveillée que soit une telle ampoule, l'intensité X qu'elle fournit représente une courbe oscillant plus ou moins régulièrement autour d'une droite représentant l'intensité X moyenne fournie par le tube.

Dans les ampoules Coolidge au contraire, à condition de les utiliser de la façon indiquée au chapitre précédent, l'intensité X fournie reste constante tant que les conditions électriques auxquelles est soumis le tube restent invariables. — Cela ne serait pas si l'on sortait de ces conditions; ainsi un tube Standard soumis pendant quelque temps à un courant d'énergie supérieur à 2.000 watts (condition assez difficile à réaliser, étant donné la puissance habituelle des installations) pourrait présenter une brusque instabilité due à la volatilisation de l'anticathode, d'où production de vapeurs ionisées.

Si ces conditions sont difficiles à réaliser avec le modèle Standard, il en va tout autrement avec la Coolidge Radiateur. Certains radiologistes en effet ont voulu, malgré les conseils de Coolidge lui-même, utiliser le tube radiateur pour la radiothérapie ; aussi croyons-nous utile de rappeler ici ce que publie à ce sujet l'inventeur de cette ampoule. Nous avons parlé plus haut de la construction de cette ampoule et des précautions prises pour expulser les gaz occlus, nous ne reviendrons pas sur ce sujet.

Rappelons simplement que l'anticathode de la Standard, faite de tungstène et de molybdène peut être portée à très haute température lors du pompage, les gaz occlus sont donc chassés presque entièrement. Il n'en va pas de même avec le tube à radiateur : ici nous sommes obligés de rester à une température assez basse, inférieure à celle de fusion du cuivre. Aussi, au premier fonctionnement, les gaz occlus sont libérés; un 2e pompage s'impose ; après cette opération, le fonctionnement est meilleur, et ce n'est qu'au 3e pompage que l'on obtient un tube dont la marche est satisfaisante. Mais encore ce résultat n'est vrai qu'autant que l'on utilise l'ampoule dans les conditions prescrites. Si l'on dépasse les limites indiquées, l'oxygène occlus dans la masse de cuivre, en arrière de la pastille de tungstène, se dégage. Or, nous avons vu précédemment en étudiant l'équation de Richardson, quelles étaient les modifications subies par les constantes a et b, et combien la moindre trace de certains gaz, de l'oxygène en particulier, avait une grande influence sur ces constantes, provo-

quant ainsi une diminution très grande dans la production d'électrons. Ces recherches, dues surtout à Langmuir, nous donnent la cause de la modification d'intensité dans la Coolidge Radiateur, employée en radiothérapie et l'explication de l'expérience de Coolidge lui-même : le tube radiateur, soumis à un régime continu de 10 milliampères avec 13 centimètres d'étincelle équivalente, s'échauffe au niveau de son anticathode qui rougit en 2 minutes et demie. Le courant baisse alors de 40 à 6 milliampères. Si on interrompt le fonctionnement de l'ampoule à ce moment, et que l'on rétablisse le courant après quelques instants, l'intensité est remontée à 10 milliampères, les gaz sont occlus de nouveau. Enfin, ce dégagement gazeux amène la production d'électrons, le tube ne joue plus le rôle de soupape parfaite, il passe un peu d'onde inverse dans le tube, en un mot on se retrouve presque dans des conditions analogues à celles de fonctionnement des tubes à gaz raréfiés.

Les résultats ci-dessous que nous tenons de l'obligeance du Docteur Henri Béclère, confirment les faits précités :

Si l'on fait marcher un petit Coolidge à un régime de 3 milliampères et 60.000 volts efficaces, pendant une heure, on constate dans les cinq premières minutes une baisse de l'intensité, et pour maintenir constant ce facteur, on est obligé d'agir sur le rhéostat du courant de chauffage du filament; en même temps se produit dans l'ampoule un cliquetis, comparable au bruit que donne un verre qui se brise dans l'eau chaude. Après cette première phase, le tube devient à peu près constant, mais

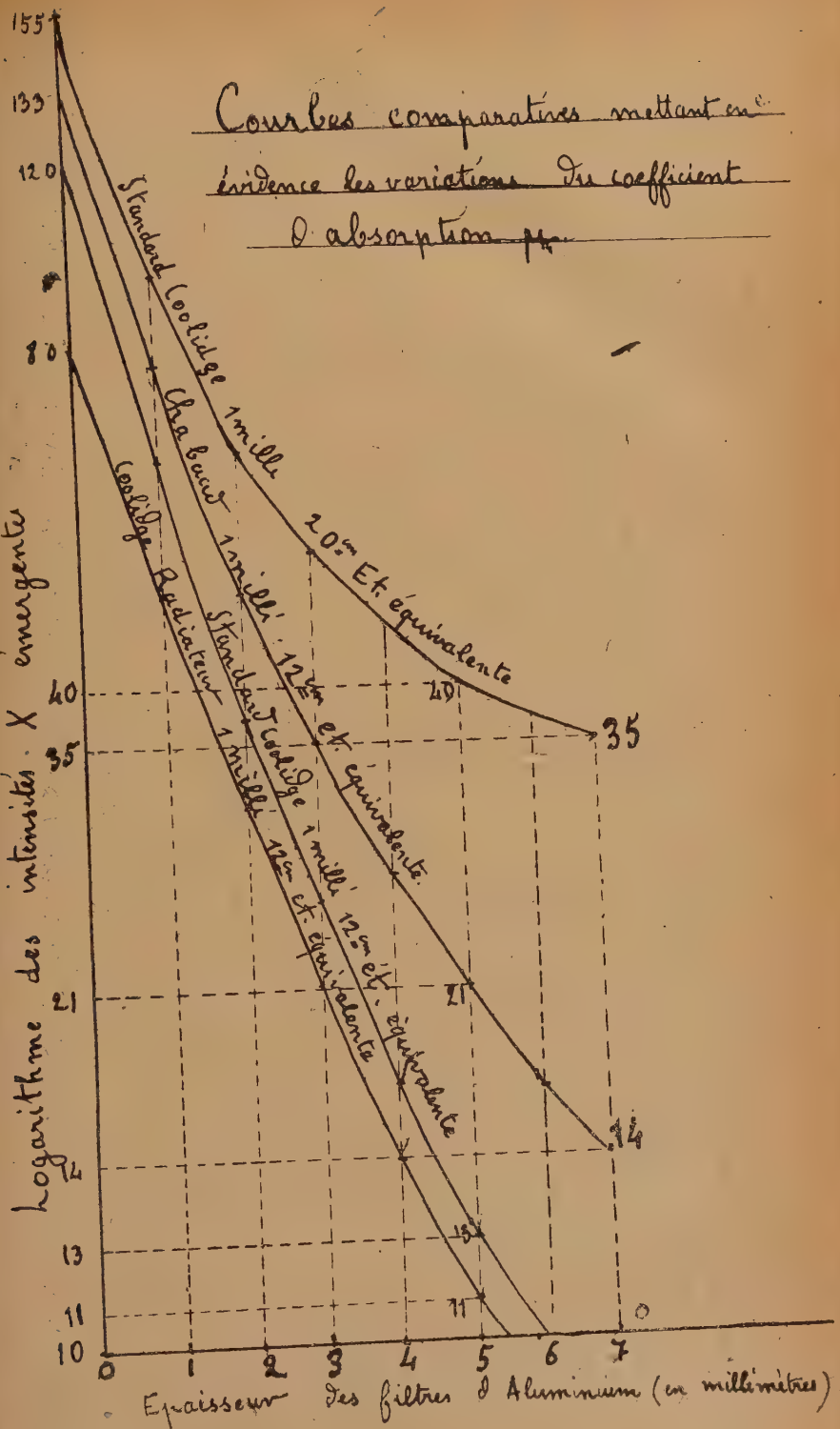
baisse ensuite dans une troisième période. Vers le 3e quart d'heure, l'anticathode rougit légèrement; si on interrompt alors le courant, et qu'on laisse refroidir l'ampoule, quand on reprend le travail, sans avoir touché aux commandes des deux courants, on constate que l'intensité admise alors n'est plus de 3, mais de 8 milliampères.

Toutes ces expériences, établies pour éprouver l'endurance des tubes, ont été faites en dehors des conditions de fonctionnement normal; quand celles-ci sont respectées, la marche du tube est invariable.

Pour ces motifs, et surtout pour ce fait que le tube Coolidge radiateur ne peut admettre qu'un voltage correspondant à 12 centimètres d'étincelle équivalente, alors que le modèle Standard supporte 20 et 23 centimètres d'étincelle, nous ne croyons pas que ce soit le meilleur appareil pour la radiothérapie profonde, nous sommes persuadé qu'en ce cas certaines ampoules à gaz raréfié capables de supporter un plus haut voltage, les tubes Chabaud par exemple, sont supérieurs à l'ampoule Coolidge radiateur.

Les courbes suivantes, où nous portons en abcisses les épaisseurs des filtres d'aluminium, en ordonnées les logarithmes des intensités X émergentes, justifieraient cette opinion.

Mais pour la radiothérapie superficielle, et surtout pour le radiodiagnostic, le tube Radiateur est excellent: c'est même le meilleur tube que l'on connaisse actuellement.


Courbes comparatives mettant en évidence les variations du coefficient d'absorption μ
Standard Coolidge 1 mill. 20cm Et. équivalente
Chabaud 1 mill. 12cm Et. équivalente
Standard Coolidge 1 mill. 12cm Et. équivalente
Coolidge Radiateur 1 mill. 12cm Et. équivalente
Logarithme des intensités X émergentes
Epaisseur des filtres d'Aluminium (en millimètres)
155
133
120
80
40
35
21
14
13
11
10
0
1
2
3
4
5
6
7
35
21
14
11
0

POUVOIR SÉPARATEUR DES TUBES COOLIDGE

On désigne sous ce terme, ou sous celui d'acuité la propriété que possèdent les tubes à rayon X de donner d'objets fins et rapprochés des images nettes et distinctes. Négligeable pour les tubes de radiothérapie, cette faculté a une importance assez grande quand il s'agit de radiodiagnostic. Ici en effet le but à atteindre est d'obtenir des clichés présentant le plus de détails possible. Parmi les causes capables d'influencer ce résultat, il en est une qui dépend de l'ampoule elle-même, et que le radiologiste ne peut modifier, c'est l'acuité. Celle-ci varie avec les tubes divers, et dépend elle-même de 3 facteurs principaux : 1° la finesse du focus anti-cathodique; 2° sa fixité; 3° l'étendue et la valeur des foyers secondaires.

La mesure de ce pouvoir séparateur s'effectue, soit à l'aide de plaques perforées, soit à l'aide de grillages métalliques de maille déterminée placés à des distances variables de la plaque sensible, soit à l'aide de grilles métalliques à mailles croissantes, placées à une distance fixe de la plaque. L'ampoule dont le pouvoir séparateur

est le plus grand, l'ampoule Chabaud par exemple, est prise comme étalon.

Nous allons étudier rapidement ces 3 causes précitées, et ensuite comparer les résultats obtenus avec les tubes Coolidge et les tubes à gaz.

1° *Largeur du focus.* — Pour les rayons X, comme pour la lumière, il faut faire intervenir la théorie de la pénombre.

Plus le foyer d'émission roentgénienne sera fin, plus la zone de pénombre sera petite, plus la zone floue du contenu des objets sera réduite. Il est donc intéressant de savoir quel est le diamètre de la zone d'impact dans les divers tubes. 2 méthodes permettent de l'étudier : la première consiste à examiner sur un tube ayant fonctionné à grande intensité les dimensions de la zone dépolie ou fondue de l'anticathode. La 2e, plus précise, consiste à photographier l'anticathode au moyen de la chambre à trou d'épingle dont nous avons étudié le principe au début de cet ouvrage. Sans rapporter le détail complet des conditions des expériences effectuées par Coolidge et Moore, retenons ce fait que les tubes à vide construits sur leurs données présentent 3 types différents dans chaque modèle, ne diffèrent dans chaque espèce que par la largeur du point d'impact. Il existe donc des tubes à foyer fin, de focus de 1/8 inch (3 mm. 2) de diamètre, des tubes à foyer moyen, de focus de 3/16 inch (4 mm. 8) de diamètre, et des tubes à foyer large de focus de 5/16 inch (8 millimètres) de diamètre.

Si nous étudions par le même procédé des tubes à gaz raréfiés, nous constatons qu'un tube Chabaud présente

un foyer de 2 millimètres de diamètre en moyenne, un tube Pilon O M de 2 mm. 25 à 3 millimètres, un tube Muller de a foyer d'environ 2 millimètres tandis qu'un tube Gundelach présente un focus dont le diamètre peut atteindre 4, 5 et même 6 millimètres.

En somme, les tubes Coolidge à foyer fin ont un diamètre de la zone d'impact sensiblement égal à celui des tubes à gaz raréfiés, habituellement utilisés pour la radiographie. Les modèles à foyer large (8 millimètres) sont destinés uniquement à la radiothérapie.

2° *Fixité du focus.* — Ici tout est à l'avantage du tube Coolidge, et ce point est important au moins autant que le précédent : tout déplacement du focus crée un déplacement en sens inverse de l'ombre portée de l'objet examiné sur la plaque, au même titre que le déplacement d'un objet que l'on photographie provoque un déplacement de l'image sur la plaque sensible, donnant naissance à une zone floue.

3° *Foyers secondaires de rayons X.* — Nous ne voulons parler ici que des foyers secondaires nés au niveau de l'ampoule. Dans les tubes à gaz raréfiés, il existe 2 régions d'origine de ces faisceaux parasites :

a) Le verre du ballon, dans l'hémisphère situé en avant du plan de l'anticathode.

b) L'anticathode elle-même, par sa surface située en dehors de la zone focale.

Dans les tubes Coolidge, le 1er foyer de rayons X parasites n'existe pas, mais le 2e centre d'émission est plus développé que dans les tubes à gaz raréfiés; à cela, 2 causes principales :

a) L'anticathode n'est pas engaînée. Les rayons cathodiques secondaires issus de l'anticathode venant la frapper en un point plus ou moins éloigné du focus donnent naissance à des rayons X, et ceci dans toute ampoule à anticathode non engaînée, que ce soit une Chabaud ou une Coolidge.

b) Tout le ballon d'une ampoule Coolidge est au potentiel négatif; aussi les rayons cathodiques secondaires repoussés de partout, viennent frapper l'anticathode tandis que dans les ampoules à gaz raréfiés, une partie au moins de ces rayons venait frapper le verre du ballon, le rendre fluorescent et donner naissance à une large zone d'émission de rayons X.

Ici une distinction s'impose entre les deux principaux types de Coolidge Standard et radiateur.

Dans le 1er modèle, l'anticathode, en dehors de la pastillle, est en molybdène (Poids atomique = 96). Dans le 2e, elle est en cuivre (Poids atomique = 63). Or, le rendement, ou rapport de l'énergie X à l'énergie cathodique, est d'après la formule de Beatty.

$$R = 2.54\ A\ \beta^2.$$

c'est-à-dire proportionnel en poids atomique du corps frappé. Ainsi donc, pour un même faisceau cathodique secondaire, l'énergie du rayonnement X parasite sera plus petite dans le cas du tube Radiateur, d'où sa supériorité sur le modèle Standard. D'ailleurs, les photographies obtenues par la pine-hole camera sont très démonstratives.

C'est pour obvier à cet inconvénient que Coolidge

essaya de perfectionner son ampoule : 2 solutions se présentaient : ou bien recouvrir l'anticathode d'un corps mauvais radiateur : aluminium par exemple, mais cette méthode ne serait applicable qu'au type radiateur, étant donné la haute température qu'atteint l'anticathode Standard, ou bien arrêter par un dispositif particulier le rayonnement parasite; c'est cette 2e solution qui fut adoptée par l'inventeur: 4 dispositifs différents furent mis à l'essai.

1° Anticathode très rapprochée de la cathode, et dans un plan perpendiculaire à l'axe du faisceau cathodique; 2 inconvénients à ce procédé : instabilité du courant filament, le vide n'étant pas absolu, et nécessité d'utiliser le faisceau X à travers la cathode.

2° Adjonction d'un capuchon à l'anticathode, capuchon formé d'un cylindre creux percé de 2 trous, un basal, central, pour l'entrée du faisceau cathodique, un latéral, pour la sortie des Rayons X.

3° Adjonction d'un écran de tungstène, relié à la cathode et percé d'un orifice étroit ; cet écran, non bombardé par les rayons cathodiques secondaires, arrête une notable fraction du rayonnement X parasite.

Ces 2 modèles ont l'inconvénient de ne produire qu'un faisceau X utilisable formant un cône très étroit, d'où la difficulté de leur emploi.

4° Anticathode placée à angle droit de la cathode. Les rayons nés sur les faces extérieures de l'anticathode ne sont pas dirigés du côté de la plaque, ne vont donc pas l'impressionner. Cette méthode très simple n'a toute son efficacité que si l'angle d'utilisation du

rayonnement est faible. De ces 4 dispositifs, le dernier seul a été conservé : c'est le type dentaire.

Nous avons essayé de comparer le pouvoir séparateur de diverses ampoules; dans ce but, nous avons radiographié des grilles métalliques, formées de fil de plomb de 10/10 de millimètre de diamètre; l'aire limitée par le grillage avait 1, 2, 3..., 9, 10 millimètres de côté. Ces grilles furent placées à 5 centimètres des plaques sensibles, et l'ampoule à 50 centimètres de ces plaques. Les tubes utilisés le furent tous à un milliampère et 12 centimètres d'étincelle équivalente. Les temps de pose furent de 5 secondes pour le tube Chabaud, 6 secondes pour le tube Standard, 10 secondes pour le tube Pilon OM_1 et 13 secondes pour le tube Coolidge Radiateur; dans chaque cas donc, la quantité de rayonnement X tombant sur la plaque sensible, mesurée avec l'appareil fluoroscopique du Docteur Guilleminot, était de 33 M environ. Les plaques furent développées dans du révélateur neuf pris au même flacon. Le temps de développement fut également le même pour toutes les épreuves. Dans ces conditions, l'aire discernable la plus petite, fut :

Avec le tube Chabaud celle de 24 millimètres de côté.
— Pilon OM celle de 5 millimètres de côté.
— Standard celle de 7 millimètres de côté.
— Radiateur celle de 5 millimètres de côté.

D'ailleurs, il ne faut point s'exagérer les inconvénients de ce rayonnement parasite; dans la pratique, il naît dans les tissus radiographiés une importante quan-

tité de rayons X secondaires qui viennent, bien plus que les rayons parasites, atténuer la finesse des épreuves. Même en opérant sur un crâne sec, les épreuves obtenues par Coolidge et soumises à plusieurs radiologistes n'ont pu être pratiquement distinguées de celles obtenues dans les mêmes conditions avec les tubes à gaz raréfiés.

APPAREILLAGE

De même que nous avons vu qu'il y avait en réalité non pas un, mais deux types d'ampoules Coolidge, le premier représenté par le modèle Standard, à résistance très grande aux différences de potentiel (100.000 volts) et à résistance encore plus étendue à l'intensité, le deuxième représenté par le tube Radiateur, à résistance limitée au potentiel et à l'intensité, mais faisant en outre office de soupape parfaite, alors que cette propriété n'est qu'ébauchée dans le premier type, de même nous pouvons distinguer deux grandes classes d'appareils, les uns capables de donner aux bornes d'utilisation de très hautes différences de potentiel, et de ne débiter qu'un courant toujours de même sens, les autres, plus simples, donnent aux bornes d'utilisation un courant alternatif de haut voltage, mais sont limités au point de vue débit et surtout différence de potentiel.

Tandis que le premier groupe, qui comprend tous les anciens appareils, légèrement modifiés, permet d'utiliser toutes les sortes de tubes, à gaz raréfié ou à vide, Coolidge Standard ou Coolidge Radiateur, le deuxième

groupe, destiné au radiodiagnostic, ne peut utiliser qu'un modèle d'ampoules, les Coolidge radiateur, mais par des qualités de simplicité, de légèreté, de robustesse, de facilité de manœuvre, il compense et au delà cet inconvénient, et est actuellement le meuble idéal pour qui veut faire du radiodiagnostic.

Nous allons successivement étudier :

1° Les points communs à toutes ces installations et qui s'adressent au courant destiné au chauffage du filament.

2° Les installations anciennes modifiées.

3° Les installations nouvelles, toutes dérivées du type des postes Coolidge de l'Armée américaine.

1° Etude du courant du filament.

Ce circuit comprend un générateur d'électricité à bas voltage (10 volts en moyenne) et des conducteurs.

Le générateur peut être une batterie d'accumulateurs ; c'est le cas de l'installation Coolidge qui existe à l'hôpital du Hasenrain à Mulhouse. — Ces accumulateurs placés dans des bacs bien isolés sont placés dans une caisse solide, munie de 4 pieds assurant un isolement parfait de la batterie, empêchant toute communication avec le sol. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que le circuit filament, parcouru par un courant de 8 volts seulement, est au potentiel de la cathode; faute de quoi, nous risquerions fort de voir jaillir des étincelles intempestives frappant les objets voisins, le malade, ou l'opérateur; c'est ce fait qui nécessite la commande à dis-

tance, si peu pratique, du rhéostat des accumulateurs. Cette solution du chauffage par accumulateurs est de plus en plus abandonnée, le courant du filament ne nécessite pas un voltage élevé, mais une intensité assez forte est nécessaire pour porter la température du filament à un degré suffisant; aussi les accumulateurs sont-ils rapidement déchargés.

Une autre solution, presque la seule utilisée actuellement, est celle du transformateur : le courant alternatif du secteur, ou fourni par une commutatrice, parcourt l'enroulement à fil fin ; le secondaire est formé par l'enroulement à fil gros et court. Ici encore, il faut se souvenir que ce secondaire, bien que parcouru par un courant de très bas voltage, est au potentiel cathodique; aussi les transformateurs doivent-ils être construits très soigneusement et spécialement pour empêcher toute étincelle entre circuits primaire et secondaire. — Outre ce générateur, le circuit filament comprend les conducteurs et l'appareil de réglage. Les conducteurs doivent remplir deux conditions; être souples, être bons conducteurs; souples, afin de permettre les divers déplacements du tube, peu résistants car ils sont parcourus par un courant de 10 volts seulement; nous choisirons donc des fils souples mais gros, et surtout nous veillerons attentivement à nos connexions qui doivent être parfaites si l'on veut éviter les résistances accidentelles qui viennent troubler la régularité de marche du tube. Le moindre défaut de ce côté provoque une variation marquée dans l'intensité du courant filament; donc dans l'intensité du courant de l'ampoule; ces petits accidents

sont d'ailleurs très faciles à éviter; il suffit d'y songer et de prendre les élémentaires précautions habituelles pour être à l'abri de tout désagrément.

Le dispositif de réglage, permettant d'augmenter ou de diminuer la température du filament est très simple et se fait par l'intermédiaire soit d'un rhéostat, soit d'une self. Les variations de l'émission électronique en fonction de la température du filament (donc d'un produit EI du courant filament) sont telles que l'ampèremètre placé dans le circuit filament ne peut dispenser du milliampèremètre placé dans le circuit de haute tension.

Grâce à ces modifications très simples, toute installation, quel que soit son type, peut utiliser et utilisera avec fruit les ampoules Coolidge; ce sont même les seuls appareillages capables d'utiliser les tubes Standard, et de leur appliquer les hauts voltages qui peuvent supporter ces ampoules grâce auxquels nous obtenons ces rayons X très pénétrants dont l'utilité est si grande en radiothérapie; si nous voulons utiliser les tubes Radiateur, nous pourrons supprimer soupapes ou contact tournant proprement dit suivant le type d'appareillage considéré, et monter le tube directement sur les bornes du secondaire, d'où simplification; dans ce cas, il sera très important, pour ne pas nuire au tube, de ne point dépasser les intensités indiquées plus haut, ni utiliser un courant dont l'étincelle équivalente soit supérieure à 13 centimètres. C'est de cette façon que procèdent nombre de radiologistes américains : quand ils veulent faire de la radioscopie, ils montent directement leur tube Standard sur le transformateur du contact

tournant, qui fonctionne ainsi sans bruit, comme un meuble Coolidge; quand ils veulent faire de la radiographie rapide ou de la radiothérapie, ils utilisent le contact tournant qui leur permet d'obtenir soit de grandes intensités, soit de hauts voltages, selon le but à atteindre.

Nous verrons plus loin, en étudiant le meuble Coolidge, destiné au radiodiagnostic, tout l'avantage que présente l'emploi d'un auto-transformateur à la place d'un rhéostat pour régler le courant primaire du grand circuit quand on utilise des tubes Coolidge; les constructeurs français ont donc perfectionné leurs contacts tournants par l'addition d'un auto-transformateur, tout en conservant le rhéostat, afin de pouvoir utiliser indistinctement les ampoules à gaz raréfié, et les tubes à cathode incandescente; cet auto-transformateur est un transformateur statique dont on peut faire varier le rapport de transformation. Dans celui construit par la maison Gaiffe-Gallot, et dont nous donnons ci-dessous la reproduction, on peut obtenir 25 variations de potentiel au primaire, et par suite au secondaire, ces dernières étant comprises entre 35.000 et 100.000 volts environ. C'est dire toute la richesse de la gamme des tensions, donc de pouvoirs de pénétration que nous avons à notre disposition. Grâce à cet autotransformateur non seulement le rendement de l'appareil est meilleur, puisqu'il n'y a plus de résistance, absorbant inutilement l'énergie électrique rendue sous forme de chaleur, mais l'indépendance du voltage aux bornes du tube et de l'intensité qui le traverse est bien mieux assurée. En effet,

l'interposition de résistance dans le circuit primaire diminue en même temps le voltage et l'intensité ; donc, quand nous enlevons quelqu'une de ces résistances, le tube Coolidge donne alors un rayonnement X à la fois plus dur et plus abondant, si la température du filament cathodique était telle que le nombre d'électrons libres n'ait pas été utilisé avant la manœuvre du rhéostat. L'auto-transformateur ne limite point l'intensité, les électrons libérés par la température du filament cathodique sont tous utilisés : c'est là même le seul dispositif de réglage du débit : nous atteignons toujours le courant de saturation ; de la sorte l'indépendance qualité-quantité du rayonnement atteint son maximum, mais elle n'est pas absolue, comme nous le verrons en étudiant les meubles Coolidge.

Enfin, comme il n'est point de progrès sans inconvénients, ce dispositif présente un danger : notre appareil comprend un transformateur à circuit magnétique fermé sans fuites importantes, et ne possède point de rhéostat : seule la quantité limitée d'électrons empêche d'avoir un débit formidable dans le circuit secondaire. Qu'il se produise un court-circuit accidentel, l'intensité débitée peut croître énormément, et même devenir dangereuse pour ceux qui sont au voisinage de l'appareil. C'est un danger réel ; il existe d'ailleurs avec le meuble Coolidge : un accident récent et terrible a attiré l'attention de tous les radiologistes de ce côté. Aussi l'utilisation de ces appareillages nécessite-t-elle la mise en œuvre de précautions et de moyens de sécurité supplémentaires dont nous parlerons plus loin.

Parmi les anciens types d'installation, le plus répandu avec le contact tournant est le système bobine-interrupteur à mercure. Ici comme pour le contact tournant, l'adjonction d'un transformateur, et d'un tableau de réglage avec rhéostat ou self, et galvanomètre nous permet d'utiliser ces installations pour faire fonctionner le tube Coolidge; l'appareillage garde toutes ses qualités, mais nous y ajoutons tous les avantages qu'apporte avec lui le tube Coolidge; les installations peuvent être encore perfectionnées en remplaçant les soupapes à afflux cathodique contrarié (soupapes Villard, Pilon) par les nouvelles soupapes dites Kenotrons. Ces soupapes sont au tube Coolidge ce que sont les soupapes Villard aux tubes à gaz raréfié ; elles sont basées sur le même principe que les tubes Coolidge : vide absolu, ou tout au moins aussi poussé qu'il est possible, cathode incandescente émettant des électrons. Comme les tubes Coolidge radiateur, ces soupapes ne sont perméables que dans un sens, mais cette perméabilité est bien supérieure à celle des soupapes Villard puisque la chute de potentiel entre leurs électrodes est de 250 volts environ, tandis qu'elle atteint 25.000 volts avec les soupapes à gaz raréfié ; par contre, leur résistance dans le sens opposé est bien supérieure à celle des autres soupapes. Comme le tube Coolidge encore, cette soupape est constante ; sa résistance ne varie pas tant que la température du filament reste invariable; l'ennui formidable causé par les anciennes soupapes disparaît donc. Ainsi comprise, une telle installation présente une constance remarquable dans son fonctionnement;

il n'y a guère que les variations qui surviennent sur la ligne d'alimentation qui viennent troubler son régime.

Parmi les appareillages de type ancien, il nous reste à étudier le dispositif de Villard, modifié par le Professeur d'Arsonval pour l'obtention de courants de haute fréquence, et connu sous le nom de meuble d'Arsonval Gaiffe. Il se compose d'un transformateur statique, à circuit magnétique fermé, dont le circuit primaire est alimenté par un courant alternatif. Le circuit secondaire comporte 2 condensateurs en série ; les soupapes sont au nombre de 2 ou 3, le tube est placé en dérivation aux bornes des soupapes. Ainsi constitué, ce meuble fonctionne de la façon suivante : pendant une phase, le courant passant par les soupapes, orientées en sens inverse du tube, charge les condensateurs ; lors de la 2e phase, le courant de direction inverse à celui de la phase précédente ne pouvant franchir les soupapes, passe par le tube, mais en même temps les condensateurs se déchargent dans le même sens, et ajoutent leur effet à celui du courant de haute tension venu du transformateur; ainsi le tube n'est excité que pendant une demi-période, et le voltage est doublé, puisqu'il est dû au voltage produit par l'onde secondaire directe, augmenté du voltage de l'onde secondaire inverse, accumulée dans les condensateurs pendant la moitié de la période précédente.

Cet appareillage présente de nombreux avantages :

a) Absence de tout dispositif mécanique, ce qui supprime les causes les plus fréquentes de panne, en même temps que le bruit et les trépidations.

b) Dispositif permettant de doubler le voltage, ce qui facilite la construction des transformateurs; ce qui est délicat en effet, c'est de réaliser une grande différence de potentiel, à cause des difficultés d'isolement, et non une grosse intensité, ce que l'on obtient sans peine en employant des fils de diamètre suffisant.

c) La présence des condensateurs, qui limitent le débit et créent ainsi une grande sécurité.

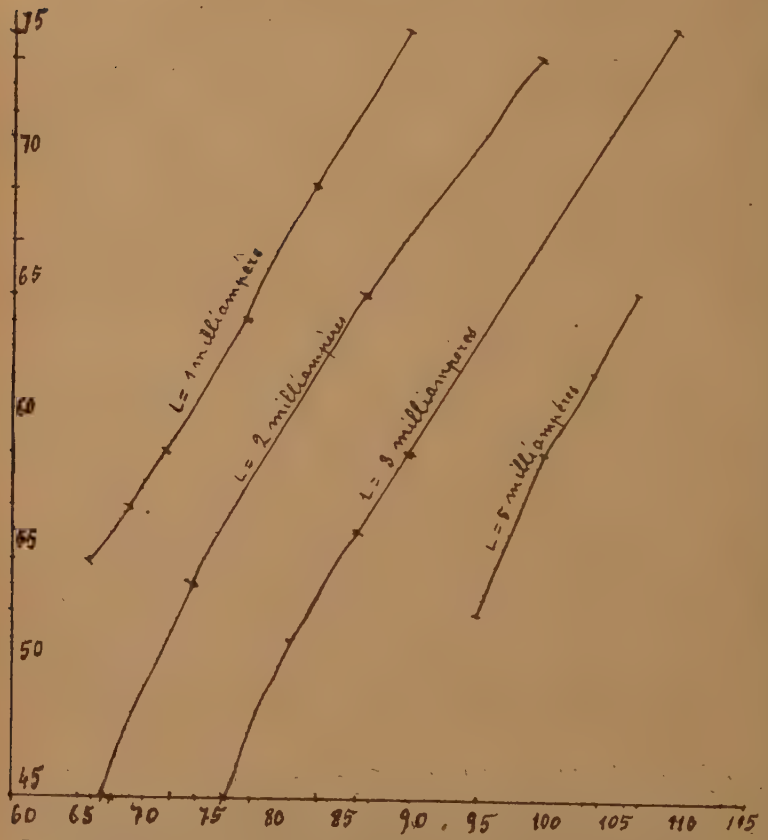
Mais ce dispositif présente des particularités qu'il est intéressant de noter :

D'abord, le bon fonctionnement est lié au bon réglage des soupapes : si elles sont trop dures, elles présentent une résistance très grande au courant, qui peut atteindre 25.000 volts, et se rapprocher en conséquence de celle d'un tube à gaz; si c'est un tel tube qui est connecté à l'appareillage, une partie de l'onde traversera ce tube; il sera parcouru par une onde inverse, fort nuisible pour le tube; si elles sont trop molles, elles n'opposeront pas à l'onde efficace une barrière suffisante; tout le courant direct ne parcourra pas le tube; une partie traversera les soupapes, d'où perte d'intensité efficace, diminution du voltage aux bornes en vertu de la loi d'Ohm.

Ensuite, le rapport entre le voltage primaire et le voltage secondaire n'est pas constant, il croît à mesure que l'intensité du courant du tube augmente, ainsi que le montrent les courbes suivantes, empruntées à notre maître le Dr Béclère.

Ce dispositif peut utiliser les tubes Coolidge, par l'adjonction d'un simple transformateur de basse tension

et des appareils de réglage par le courant de chauffage du filament cathodique; ils donnent ainsi de très bons résultats, mais il est possible de leur apporter un per-



En abcisses : voltage primaire. En ordonnée : voltage secondaire. Courbes obtenues aux diverses intensités avec le meuble de Villard.

fectionnement très important, en remplaçant, les soupapes cathodiques par une soupape Kénotron, dont la résistance pour ainsi dire infinie dans un sens,

est très faible dans l'autre (250 volts de chute de potentiel a ses bornes, alors que cette chute peut atteindre 25.000 volts avec une soupape Villard un peu dure). De la sorte, nous sommes à l'abri de l'onde inverse, et surtout, nous pouvons doubler véritablement le voltage, le dispositif possède alors sa pleine efficacité.

Enfin cet appareillage présente encore 2 avantages :

D'abord, de par le fait qu'il utilise des condensateurs, nous pouvons les choisir de capacité telle que les variations du voltage soient minimes ; nous nous rapprocherons ainsi de la forme du courant obtenu avec les machines statiques.

Ensuite, la présence des condensateurs est un excellent limitateur de débit, et s'ajoute au rhéostat pour jouer ce rôle ; c'est donc un appareil très sûr parmi ceux à circuit magnétique fermé.

Si tous les anciens appareillages peuvent fonctionner avec le tube Coolidge, sont-ils tous également recommandables ? Tel n'est pas notre avis, du moins en ce qui concerne la radiothérapie. Frappé par les observations que nous avait faites à ce sujet le Dr Solomon, nous avons institué en collaboration avec lui, l'expérience suivante :

Un tube Coolidge type Standard fut actionné tantôt par un conctact tournant, tantôt par une bobine ; dans les 2 cas, l'intensité utilisée a été de 1 milliampère, l'étincelle équivalente de 20 centimètres. Des différences très grandes ont alors été remarquées, que nous enregistrons dans le tableau suivant :

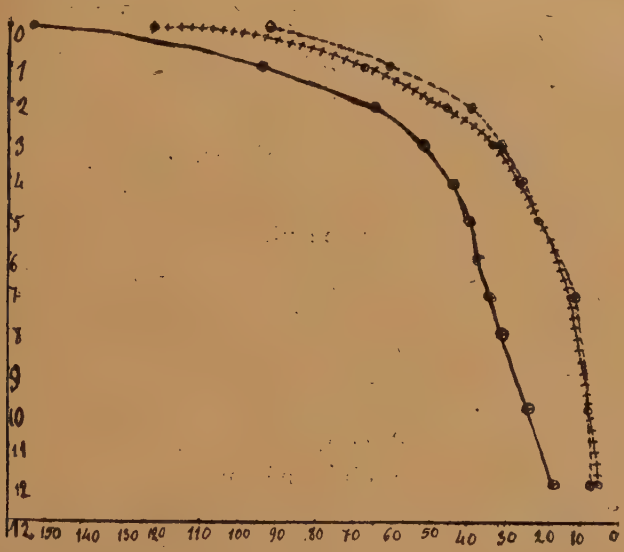
EPAISSEUR DES FILTRES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	14,5
Bobine 1 mm. 20 cm . . .	155	95	65	52	45	40	38	35	32	25	18
Contact tournant mm. 20 cm.	95	62	40	32	28	22		12		9	8
Bobine 1 mm. 12 cm . . .	122	68	46	33	28	22		13		9	,

Le contact utilisé était un contact Drault; dans l'autre appareillage c'était une bobine Rochefort et un interrupteur Ropiquet qui ont été expérimentés; les mesures ont été effectuées avec le fluoromètre du Dr Guilleminot.

Il en résulte que, dans les conditions énumérées, la bobine nous a donné un rayonnement X supérieur de plus 1/3 à celui donné par le contact tournant, et cette différence s'accentue encore si nous considérons ce rayonnement filtré : sous les 5 millimètres d'aluminium, le faisceau émergeant a une intensité sensiblement double quand on utilise la bobine. Si notre filtre avait 12 millimètres, ce serait une intensité intermédiaire entre le double et le triple qui serait fournie par la bobine.

Considérons encore ce tableau, ou mieux les courbes construites sur ses données et nous voyons qu'à partir d'une filtration de 3 millimètres, la courbe obtenue avec le contact tournant marchant à 1 milliampère et 20 centimètres d'étincelle équivalente, et celle obtenue

avec la bobine fonctionnait sous un régime de 1 milliampère et 12 centimètres d'étincelle équivalente sont confondues.



En ordonnée : épaisseur des filtres (le zéro est en haut). En abcisses : intensité X (le zéro est à droite).

Courbe inférieure : 1 milli 20 cm. Et. éq. { Bochine Rochefort. Interrupteur Ropiguet.

Courbe moyenne : 1 milli 12 cm. Et. éq. { Bobine Rochefort. Interrupteur Ropiguet,

Courbe supérieure : 1 milli 20 cm. Et. éq. : Contact tournant Drault.

20 centimètres d'étincelle au contact ne correspondaient donc qu'à 13 centimètres d'étincelle à la bobine. On voit d'ici la grande supériorité de la bobine et radiothérapie; non seulement, les séances peuvent être rendues plus courtes, ou mieux l'emploi de filtres plus épais peut être utilisé sans rendre les séances trop longues, mais encore et surtout nous obtenons un

faisceau contenant des rayons de plus courte longueur d'onde, plus pénétrants, dont une partie bien plus faible est absorbée par la peau et les couches superficielles; notre puissance thérapeutique est donc accrue de ce fait que, sans léser les téguments, nous pouvons faire arriver dans la profondeur une dose de rayons bien plus grande en utilisant la bobine. Ainsi, si nous supposons utiliser une filtration de 3 millimètres, pour irradier un fibrome de 7 centimètres d'épaisseur, sous une paroi épaisse de 2 centimètres, en utilisant des doses telles que la même quantité de rayons, 12 M, soit arrêtée par la peau et la paroi abdominale, le fibrome retiendra une dose de 22 M, dans le cas de la bobine, de 16 M, dans le cas du contact tournant.

Une autre conclusion s'impose : chaque appareillage, chaque tube doit être étalonné, non seulement sans filtration mais pour toutes les épaisseurs de filtre utilisées, car les courbes d'absorption varient dans chaque cas; à ce prix seulement nous pourrons faire une thérapeutique raisonnée, logique, efficace, tout en mettant le malade à l'abri du danger de radiodermite.

Quel que soit l'appareillage utilisé, la manœuvre des rhéostats a des conséquences bien définies, et différentes de celles observées lors de l'emploi des tubes à gaz raréfiés. Pour comprendre ces conséquences, relatons les expériences de Boil et Mallet d'une part, de Shearer d'autre part.

Les premières ont trait à la manœuvre du rhéostat du circuit, de chauffage du filament : plaçons donc le rhéostat du circuit primaire du grand transformateur à

une position déterminée, puis modifions l'intensité du courant passant dans le filament cathodique. Mesurons alors l'intensité du rayonnement, X qui varie avec ces modifications du circuit-filament; voici ce que l'on observe : tout d'abord l'intensité du courant dans l'ampoule, et l'intensité roentgénienne, mesurée par ionisation, sont faibles; à mesure que nous augmentons l'intensité du circuit filament, l'intensité du circuit ampoule augmente, de même celle de l'intensité du rayonnement X. Mais cette dernière ne va point croître indéfiniment, elle atteint à un moment donné un maximum, et si l'on continue à augmenter la température du filament, l'intensité du courant-ampoule augmente, mais l'intensité du rayonnement roëntgénien diminue; ainsi, pour citer un chiffre donné par ces auteurs, en opérant avec un courant donnant au début 4 centimètres d'étincelle équivalente, l'intensité du rayonnement est 50 fois plus petite pour 35 milliampères que pour 5 milliampères ; le rayonnement maximum est obtenu avec une intensité de 12 milliampères environ; si la longueur de l'étincelle équivalente est plus grande, la valeur de l'intensité optima augmente; ainsi pour une étincelle de 6 centimètres, le maximum est atteint pour un courant de 25 milliampères environ. D'après J.-S. Shearer, ce fait est dû surtout à la présence du rhéostat. Or:

$$\text{Energie } X = K E^2 I$$

si $E = 0$ ou si $I = 0$, Energie $X = 0$, en vertu de la loi d'Ohm, les variations de E et de I se feront en sens inverse dans le cas particulier entre les 2 extrêmes cités, ou

Énergie $X = 0$ existera un point où le maximum de radiation est atteint ; ceci se produit quand le voltage est égal aux 2/3 du voltage à circuit ouvert.

Procédons maintenant à l'expérience inverse, c'est-à-dire plaçons le rhéostat du circuit filament à une position fixe, déterminée, et faison varier le rhéostat du circuit-ampoule. L'intensité du rayonnement, très faible, va croissant d'abord rapidement, puis de plus en plus lentement, et arrive enfin un instant où les variations de la résistance dans le primaire du transformateur n'amènent aucune modification dans l'intensité du courant de l'ampoule : nous avons alors atteint la saturation. Ce phénomène se produit quand tous les électrons émis par la cathode sont utilisés. — Selon le degré de température du filament, le seuil de la saturation variera : plus cette température sera haute, plus l'intensité et le voltage du courant nécessaire pour obtenir cette saturation seront élevés. — Dans la période qui précède la saturation, la relation unissant l'intensité au voltage a été établie par Langmuir, et est de la forme.

$$i = K \times 10^{-5} \frac{l}{d} v^{-\frac{3}{2}}$$

l = longueur du filament.
d = diamètre du filament.
k = constante = 2.5
i est exprimée en ampères, v en volt.

Si au lieu de nous adresser à un tube Coolidge, nous avions expérimenté sur un tube à gaz raréfié, le résultat aurait été tout différent ; dans ces tubes, en effet, l'inten-

sité croît toujours avec le voltage, et cette croissance va en augmentant à mesure que la différence de potentiel augmente, à l'inverse de ce qui se passe dans le tube Coolidge. Ainsi donc, s'impose une déduction de la plus grande importance au point de vue du radiodiagnostic : le tube à gaz a dans un seul état de vide, une échelle de courant utile plus étendue qu'un tube Coolidge travaillant à une température déterminée du filament. Ce point important, sur lequel a insisté J. Shearer, est-il un obstacle à l'obtention de bonnes images radiographiques ou radioscopiques avec les anciennes installations?

Nullement, ce n'est même pas une difficulté : il suffit de connaître l'écueil pour l'éviter, et ne point procéder avec les tubes Coolidge comme on avait coutume de le faire avec les tubes à gaz : dans ce cas, en effet, nombre de radiologistes avaient pour habitude de régler leur ampoule à faible intensité ; ils savaient par exemple que, pour obtenir de bonnes images radiographiques, il fallait qu'à un régime de 2 milliampères, l'étincelle équivalente fut égale à 5 centimètres. Le tube ainsi réglé, ils poussaient le rhéostat, et effectuaient leurs radiographies à 15 milliampères par exemple. Mais à cet instant l'étincelle équivalente n'était plus 5 centimètres, mais bien 9 ou 10. Si nous procédons avec la même méthode (reconnue bonne par expérience quand on emploie des tubes à gaz), en utilisant des tubes Coolidge, le résultat sera lamentable : Le milliampèremètre ne nous indiquera plus 15 milliampères, mais seulement 9 ou 10; par contre, l'étincelle équivalente sera très longue, le

rayonnement moyen trop pénétrant, le cliché sera gris et voilé. Il est fréquent d'entendre dire que les tubes Coolidge donnent des épreuves très fines, mais grises et sans contrastes; c'est une erreur profonde; dans ce cas, c'est l'opérateur, non le tube, qui sont responsables. Comment devons-nous procéder? On pourrait peut-être employer la même méthode qu'avec les tubes à gaz, mais en ayant soin de prendre une étincelle équivalente très courte; si l'on s'en rapporte au tableau de Shearer, pour avoir à 18 milliampères, un tube fonctionnant sous 9 centimètres d'étincelle équivalente, il faudrait qu'à 10 milliampères, un tube à gaz aie une étincelle équivalente de 6 cm. 5 et un tube Coolidge a une étincelle équivalente de quelques millimètres.

En pratique, il existe une méthode bien plus simple et bien plus sûre : elle consiste à amener son tube au régime désiré, ce qui est facile à obtenir par la manœuvre de nos deux rhéostats: nous avons par exemple un tube fonctionnant à 20 milliampères, sous une étincelle équivalente de 12 centimètres, ce qui correspond à un rayonnement 6°-7° B; à ce moment nous coupons le circuit du grand transformateur, tout en laissant fermé le circuit filament, et nous ne touchons pas à notre rhéostat. Le malade et la plaque sensible étant mis correctement en place, le sujet immobilisé, si nous fermons le circuit primaire, notre tube fonctionne, comme précédemment, à 20 milliampères et 12 centimètres d'étincelle équivalente, et nous obtiendrons toujours ce résultat si nous replaçons toujours exactement nos deux rhéostats dans la même position.

Ainsi donc, avec les tubes Coolidge et les anciens appareillages, il est facile, bien plus qu'avec les tubes à gaz, d'obtenir d'excellentes radiographies parce que nous pouvons toujours nous replacer dans les mêmes conditions d'intensité et de pénétration du rayonnement. Il suffit seulement de procéder ainsi qu'il vient d'être dit, et de se méfier des rayons trop pénétrants pour le motif ci-dessus indiqué, et pour deux autres causes que nous allons indiquer brièvement.

La première est la constance même du tube Coolidge : dans un tube à gaz, nous avons commencé une radiographie avec une étincelle équivalente de 16 centimètres ; à la fin de la pose, l'étincelle équivalente n'est plus que de 8 centimètres. La valeur moyenne de notre étincelle équivalente est donc 12 centimètres et non 15 centimètres ; il faudra donc utiliser un tube Coolidge avec 12 centimètres d'étincelle équivalente, pour obtenir le même résultat, parce qu'à la fin de l'exposition, le tube Coolidge aura toujours une étincelle équivalente de 12 centimètres.

Un deuxième motif s'ajoute au précédent, dans le cas seulement où nous utilisons un tube Coolidge Radiateur : dans les mêmes conditions électriques, ce tube émet un rayonnement dont le pouvoir de pénétration moyen est plus grand que celui des autres tubes; il faudra donc dans ce cas, utiliser une étincelle équivalente encore un peu plus courte que dans le cas où l'on emploie un tube Standard.

En résumé, les anciens appareillages excellents pour la radiothérapie, utilisent avec un grand avantage les

tubes Coolidge pour le radiodiagnostic, mais ici se placent les nouveaux appareillages qui présentent sur leurs aînés certains avantages.

Il nous reste à parler des appareillages spéciaux, destinés au radiodiagnostic, et utilisant exclusivement le tube Coolidge Radiateur. Tous ces appareils sont en effet basés sur ce principe que le tube en question remplit également le rôle de soupape parfaite.

Construits pour utiliser le courant alternatif, leur simplicité est fort grande et ne comporte aucune pièce mécanique, ni interrupteur, ni contact tournant, d'où leur simplicité, leur robustesse, leur marche silencieuse. Autre caractéristique : la suppression du rhéostat sur le circuit primaire du transformateur haute tension.

Comme tous les divers modèles dérivent du meuble établi par le Professeur Shearer, nous allons décrire ce dernier, pour indiquer ensuite les variantes introduites par les différents constructeurs. Le meuble américain comprend deux circuits, qui viennent aboutir tous deux aux bornes de prise de courant du secteur.

A) *Le 1^er^ circuit* : C'est celui du primaire du transformateur haute tension ; il comporte :

1° Un interrupteur.

2° Un autotransformateur, qui remplit le rôle du rhéostat du primaire dans les appareillages habituels, mais présente sur ce dispositif de précieux avantages. Il est formé d'un enroulement autour d'une couronne de fer doux, formant circuit magnétique fermé ; ce circuit est interrompu à intervalles égaux, et relié par des plots à un commutateur ; il est ainsi facile d'uti-

liser un enroulement plus ou moins grand du circuit, et d'obtenir ainsi toute une gamme de différences de potentiel, parmi lesquelles on peut choisir celle qui donnera au secondaire le voltage, donc le degré de pénétration approprié. Le modèle américain comprend 8 plots actifs séparés par 7 plots morts destinés à éviter tout court-circuit; cela revient à utiliser un transformateur à 8 coefficients de transformation. Grâce à ce dispositif, la chute de voltage qui se produit quand on augmente l'intensité du débit de l'ampoule est beaucoup moins grande quand on utilise cet appareil que quand on se sert du rhéostat.

Ainsi, pour citer un chiffre expérimental, tandis qu'avec un rhéostat le passage de 10 à 20 milliampères provoque une chute de potentiel de 60.000 à 25.000 volts, la même installation n'amène, quand on utilise un autotransformateur, une chute de potentiel que de 60.000 à 58.000 volts. Cette chute, au lieu d'avoir varié de 35.000 volts, n'a donc subi une diminution de 2.000 volts seulement, ce qui est pratiquement négligeable au point de vue de la radiographie médicale.

Il s'ensuit que la quantité de rayons X émise dans le même temps aurait été dans les 2 cas de 32 unités avec le courant de 10 milliampères, et avec le courant de 20 milliampères de 12 unités en employant le rhéostat, de 65 unités en utilisant l'autotransformateur : résultats opposés dont l'explication est donnée par les travaux de Boll et Mallet, Shearer, Guilleminot, que nous avons précédemment indiqués.

3° Un voltmètre en dérivation.

4° L'enroulement primaire du transformateur. Celui-ci est du type à circuit magnétique fermé, et étudié spécialement pour éviter au maximum les fuites magnétiques.

5° Une sorte de bobine de self agissant sur un dispositif analogue placé en série sur le 2e circuit, et agissant l'une sur l'autre par induction mutuelle.

B) *Deuxième circuit.* — Tandis que ce premier peut être nommé circuit primaire du transformateur de haute tension, le deuxième est le circuit primaire du transformateur de chauffage du filament; il comprend :

1° Un interrupteur.

2° Une self, dans laquelle pénètre plus ou moins un noyau de fer doux; ce dispositif est utilisé à la place du rhéostat pour modifier l'intensité du circuit; c'est le dispositif appelé bobine de réaction.

3° L'enroulement primaire du transformateur destiné au chauffage du filament; ce petit transformateur est à circuit magnétique fermé.

4° La bobine placée en regard de celle du premier circuit; par induction mutuelle se produit ainsi une sorte de réglage automatique par action réciproque des deux courants l'un sur l'autre.

A ces 2 circuits primaires correspondent 2 circuits secondaires :

A) *Circuit secondaire de l'ampoule.* Il comprend :

1° L'enroulement secondaire du transformateur de haute tension, à fil long et fin, soigneusement isolé du circuit primaire et du noyau.

Cet enroulement est coupé en son milieu, et ses deux

moitiés reliées par un milliampèremètre qui, grâce à ce dispositif, est au potentiel zéro. On peut donc le toucher sans recevoir de décharge électrique.

2° Les fils conducteurs. Celui qui aboutit à l'anticathode ne diffère pas de celui des tubes à gaz (enrouleur, boudinettes, etc.) Celui qui aboutit à la cathode est un des fils (fil négatif) du circuit filament qui sert ainsi à double fin, et est parcouru à la fois par le courant haute et basse tension.

3° Le tube, qui pourrait être connecté indifféremment dans ce sens ou dans l'autre, puisqu'il reçoit du courant alternatif haute tension, et qu'il est à lui-même son propre sélecteur, mais dont la position est déterminée par la situation de la vis Edison.

B) *Circuit secondaire du filament.* Il comprend :

1° L'enroulement secondaire du transformateur basse tension, formé d'un fil gros et court, très bien isolé du noyau et du circuit primaire, car cet enroulement est au potentiel cathodique; son isolement doit donc être aussi bon que celui du transformateur de haute tension.

2° Les conducteurs, formés de 2 fils qui doivent présenter les 3 qualités suivantes :

Souplesse pour permettre les déplacements du tube.

Faible résistance, puisque le courant qui les parcourt n'a qu'une tension de 8 volts.

Bon isolement. S'il n'en est pas ainsi, on voit alors une petite étincelle jaillir entre les 2 fils, portés au potentiel cathodique, altérer l'isolant en soie et créer un court circuit; c'est une cause fréquente de petite panne, d'ailleurs très facile à réparer.

Pour faciliter le montage des tubes, leur changement rapide, ce circuit présente une prise à fiche ; là aussi il faut veiller à ce que les écrous soient bien serrés sur les fils, que le contact soit parfait au niveau des fiches, afin d'éviter les résistances accidentelles nuisibles à la régularité de marche du tube.

Enfin les conducteurs sont reliés au filament de tungstène par l'intermédiaire d'une douille à vis Edison ; ce dispositif assure un contact parfait ; il est exceptionnel que les mauvais contacts siègent à ce niveau.

Tel est l'appareil primitif créé pour l'utilisation du Coolidge radiateur.

Il n'a donc ni moteur, ni soupape, ni spintermètre ; ce dernier a été supprimé pour 3 motifs :

D'abord parce que la résistance du transformateur est telle qu'il ne pourrait supporter cette décharge disruptive ; pour obtenir un transformateur ayant cette endurance, il faudrait le construire plus lourd, plus gros, et plus coûteux.

Ensuite parce que, étant donné la forme de l'onde, cette étincelle ne pourrait être comparée à celle obtenue avec les anciens appareils, et l'on mesurerait au spintermètre non le voltage de l'onde directe, mais celle de l'onde inverse.

Enfin parce que l'emploi d'un transformateur pratiquement sans fuites magnétiques, et de l'autotransformateur permet d'admettre, que le rapport $\frac{\text{Voltage secondaire}}{\text{Voltage primaire}}$ est constant. L'erreur ainsi commise n'est pas plus grande que celle due à la mesure

par la longueur de l'étincelle équivalente, à condition que l'appareil fonctionne de façon invariable.

Les appareillages construits en France diffèrent peu du type décrit ; nous serons donc bref à leur sujet.

La Maison Gallot possède 3 modèles :

Le 1er, meuble à pénétration fixe, modèle d'armée, fonctionne toujours à une tension fixe de 55.000 volts, ce qui correspond à une étincelle équivalente de 12 centimètres et à un degré de pénétration 7° B, environ.

Un commutateur permet de prendre sur le primaire l'enroulement correspondant exactement à 55 K. V. au secondaire. L'incandescence du filament est produite par partie de l'enroulement du transformateur de haute tension et se règle au moyen d'un noyau de self comme dans le modèle américain ; ce meuble permet d'obtenir 20-25 milliampères.

Le 2e type, petit modèle transportable, est à pénétration fixe comme le précédent, mais ne comporte pas de commutateur ; comme dans le 1er type, le transformateur du filament n'est pas indépendant du transformateur de haute tension ; de dimensions très réduites (60 cm. × 60 cm. × 35 cm.), cet appareil peut donner 15 milliampères pour une pénétration moyenne de 6° à 7° B. Cet appareil, très petit et pour ainsi dire indéréglable, peut être facilement transporté au domicile d'un malade, d'où son utilité, mais il présente 2 inconvénients :

Le 1er, c'est sa pénétration fixe : tout radiologiste sait par expérience combien il est utile dans certains cas de faire varier le degré de pénétration des rayons

utilisés (radioscopie du poumon, radiographie de calcul, par exemple).

L'admirable souplesse de l'ampoule Coolidge, qui est une des qualités de ce tube, ne peut être utilisée avec les 2 meubles précités.

Le second, c'est la dépendance des circuits primaires des 2 transformateurs, commandés par le même interrupteur; au moment de la fermeture, le filament n'atteint pas d'emblée sa température maxima ; l'intensité du courant de l'ampoule croît pendant ce temps, puis devient fixe.

Cette période d'état variable qui dure quelques secondes, ne permet pas la radiographie rapide et crée un obstacle à la détermination rigoureuse des temps de pose.

Le 3e modèle, à pénétration variable, ne présente aucun de ces inconvénients. Transformateur haute tension et transformateur filament sont indépendants, mais le circuit ampoule ne peut être fermé qu'après l'établissement du circuit filament; le tube ne court donc aucun danger en cas de distraction de l'opérateur. L'enroulement primaire du transformateur haute tension comprend 5 sectionnements aboutissant à 5 plots d'un commutateur; on peut ainsi faire varier la tension du secondaire de 30.000 volts efficaces environ à 60.000 volts efficaces environ, c'est-à-dire choisir 5 valeurs de pénétration allant de 5° à 8° Benoist.

Ce meuble comprend sur son tableau de commande 2 fusibles; 3 appareils de mesure : 1 voltmètre, 1 milliampèremètre, 1 ampèremètre en série dans le circuit

primaire du transformateur filament ; 2 interrupteurs : circuit filament, circuit ampoule, et 2 poignées de réglage, l'une pour le transformateur haute tension, sert à régler le voltage secondaire, l'autre pour le circuit filament, sert à régler le débit dans le tube. L'appareillage, présentant les dimensions suivantes 1 m. 04 × 0 m. 60 × 0 m. 55, pèse 150 kilogrammes.

Le meuble construit par la Maison Drault présente quelques différences : Le circuit filament comprend 2 transformateurs : l'un à circuit magnétique fermé fonctionnant comme réducteur de potentiel ; le second à circuit magnétique ouvert achève l'œuvre du premier et ramène le potentiel à 8 volts.

Le réglage du circuit-filament s'opère au moyen d'une self. Le réglage du circuit primaire du transformateur haute tension s'effectue pas sectionnement du primaire aboutissant à des plots d'un commutateur, les plots actifs étant séparés par des plots morts pour éviter tout court-circuit. Le tableau de commande, placé à la face supérieure du meuble, est très explicite : outre 2 fusibles un interrupteur, une manette de réglage et un voltmètre placés sur le circuit primaire du transformateur haute tension.

Un interrupteur, une manette de réglage du circuit primaire du transformateur de chauffage, un milliampèremètre placé sur le milieu du secondaire du transformateur haute tension.

L'interrupteur du grand transformateur ne peut, par un mécanisme de sûreté approprié, être abaissé qu'après fermeture du circuit filament ; ce dispositif rend ainsi

impossible la distraction dangereuse pour le tube qui consisterait à fermer le circuit ampoule avant celui du filament cathodique. La manœuvre est donc très simple : Vient-on à fermer le 1er circuit, le filament chauffe; abaisse-t-on le 2e interrupteur, le courant passe dans le tube.

Si l'on agit sur la 1re manette, l'intensité augmente, la déviation du milliampèremètre placé en regard mesure cette modification. Si l'on manœuvre la 2e manette, le voltage augmente, ce que traduit le voltmètre placé en face de cette poignée de commande.

La construction de ces appareils est telle que ce sont ceux qui permettent la plus grande indépendance entre l'intensité X et le degré de pénétration du faisceau émis; dans les limites d'utilisation de ces appareils, cette indépendance est pratiquement complète, en effet; voici le résultat d'expériences faites avec le meuble Drault :

1° Si l'on maintient invariable la commande du circuit de haute tension, et que l'on fasse varier la température du filament, de façon à passer de 1 à 30 milliampères, la chute de potentiel observée est d'environ 1.000 volts. Si l'on songe que cette chute ne correspond qu'à une variation de l'étincelle équivalente inférieure à 5 millimètres, et qu'entre des rayons 5° B et 6° B existe une différence de potentiel de plus de 10.000 volts, on voit combien cette variation peut être tenue pour nulle dans la pratique.

2° Si, inversement, on fait varier le voltage appliqué au tube sans modifier le circuit filament, la variation

qui se produit dans l'intensité du circuit de haute tension est d'environ 1/10e d'ampère; donc négligeable elle aussi. Les variations du meuble Gaiffe sont, paraît-il, de même ordre ; donc il est inutile d'en tenir compte.

Avec de tels dispositifs, il devient désormais enfantin de régler la quantité et la qualité du rayonnement utilisé; aussi les difficultés de la technique radiologique sont-elles pour ainsi dire abolies avec ce genre d'appareillage; grâce à lui, on peut après une journée d'expériences, obtenir d'aussi bons résultats qu'après un mois de travail avec les anciennes installations. Autre avantage de ce meuble, il est peu encombrant (50 × 60 centimètres × 1 mètre), assez léger (90 kilogr.), donc facilement transportable au domicile des malades. Il permet d'obtenir de 1 à 30 milliampères dans le tube, avec un voltage de 35 à 60 kilovolts efficaces.

L'installation Coolidge représente donc actuellement l'appareillage idéal pour le radiodiagnostic : simplicité, robustesse telle que presque toutes les causes de panne sont supprimées, disposition telle que l'indépendance débit — dureté des rayons atteint ici son maximum. Manœuvre extrêmement facile, sans erreurs possibles, marche totalement silencieuse, absence d'étincelles et d'ozone, telles sont les principales qualités à relever. Quelle est la valeur de cet appareillage pour la radiothérapie? Sur ce point, nous serons beaucoup moins enthousiastes : Nous avons vu plus haut que la grande supériorité du tube Coolidge pour la radiographie était sa constance et sa souplesse, et pour la radiothérapie,

sa constance et son endurance aux voltages élevés, jusqu'à 100.000 volts. Grâce à cette dernière et précieuse propriété, nous obtenons, après filtration convenable, un faisceau incident formé en très grande partie de rayons très pénétrants, de courte longueur d'onde, dont le coefficient d'absorption est faible. Grâce à ce fait, nous pourrons faire parvenir dans la profondeur des tissus, sans léser la peau, de quantités de rayons bien plus grandes qu'avec les tubes à gaz, même les plus durs. En effet, à voltage égal, la composition du rayonnement X est semblable dans les tubes à vide et dans les tubes à gaz raréfié, mais, tandis que les tubes à gaz supportent difficilement, un régime continu sous 18 centimètres d'étincelle équivalente, les tubes Standard fonctionnent sans fatigue apparente sous 23 à 24 centimètres d'étincelle équivalente. Le tube Coolidge Radiateur ne supporte guère qu'une différence de potentiel moitié moindre environ, correspondant à 12 centimètres d'étincelle. A cet égard, il reste donc inférieur par un côté aux tubes à gaz, gardant pour lui l'avantage de la constance; avec lui, nous ne pouvons obtenir les rayons très pénétrants recherchés pour la radiothérapie profonde, particulièrement pour celle des fibromyomes utérins : le degré moyen de pénétration de son rayonnement reste inférieur à celui que l'on peut obtenir avec les tubes Chabaud par exemple. Le coefficient μ d'absorption après filtration sous 5 millimètres d'aluminium, du Coolidge Radiateur, fonctionnant sous 12 centimètres d'étincelles équivalentes est de $60/100^e$, celui d'un tube Standard fonctionnant sous 28 centi-

mètres d'étincelle équivalente est de 19/100e; aussi les pigmentations, les radiodermites sont-elles plus à craindre avec ces tubes, pour les mêmes doses incidentes, qu'avec le modèle Standard, et cependant une plus faible portée du rayonnement arrive dans la profondeur, d'où efficacité moindre au point de vue thérapeutique. C'est cette cause, bien plus que l'endurance limitée de l'ampoule qui crée une contre-indication à son emploi radiothérapique.

Est-ce à dire qu'il est impossible d'utiliser ce tube pour le traitement ? Nullement : Bien manié, soigneusement étalonné, ce tube très régulier dans son fonctionnement donnera de bons résultats, tout en évitant certainement la radiodermite; pour ne citer qu'un exemple, rapportons l'observation succincte d'un malade traité par le Docteur Henri Béclère avec une Coolidge Radiateur, marchant à un régime de 3 milliampères et 90.000 volts maxima (environ 65.000 volts efficaces); sous 3 millimètres d'aluminium, la teinte B, était obtenue en 12 minutes; le malade était atteint de leucémie, avec rate débordant l'ombilic à droite de 11 centimètres; après un mois de traitement, le malade, d'aspect cachectique lors de la première séance, faisait 20 kilomètres à pied par jour, présentait une rate de dimensions presque normales, et le nombre de ses globules blancs était passé de 233.000 à 3.000.

Parmi les appareillages actuels, le meilleur pour la radiothérapie nous paraît donc être la bobine avec l'interrupteur à mercure, utilisant les soupapes Kénotrons et le tube Standard.

Mais d'autres solutions qui n'ont malheureusement pas encore été réalisées pratiquement, viendront probablement modifiées sous peu cette opinion. Nous avons déjà parlé de l'intérêt que présente le meuble Villard d'Arsonval, modifié par l'emploi des tubes Coolidge et des soupapes Kénotrons; une solution de même ordre a été proposée par la Maison Gallot : Elle se compose d'un transformateur à circuit magnétique fermé, comprenant dans son circuit secondaire, deux kénotrons montés en parallèle en sens inverse, et reliés par leurs électrodes libres à 2 condensateurs en série; la connexion reliant les 2 condensateurs est réunie à la 2e forme du secondaire du transformateur. Pendant la 1re phase, le 1er condensateur se charge; pendant la 2e phase, c'est le 2e condensateur qui est chargé. A ce moment, la différence de potentiel entre les armatures extrêmes des 2 condensateurs est égale au double du voltage fourni par le secondaire du transformateur. Si la capacité des condensateurs est convenablement choisie, la différence de potentiel aux bornes du tube variera très peu, la fluctuation pourra n'être que de 1 p. 100 environ ; on se rapprochera de la forme de courant donné par les machines statiques. De là une plus grande facilité apportée dans les mesures électriques, et les avantages pour la radiothérapie.

MOYENS DE PROTECTION

L'apparition du tube Coolidge fut, comme toute nouveauté, accompagnée de multiples critiques ; parmi les reproches adressés à cette ampoule, les plus vifs s'adressèrent aux dangers que pourrait faire courir ce tube aux malades et aux radiologistes, ces dangers peuvent se ranger sous 3 chefs :

Le 1er inspiré par la vue d'une anticathode massive portée au rouge blanc, était la rupture de la tige de molybdène, d'où brûlures terribles pour le malade. Le temps a fait justice de ces craintes théoriques. D'ailleurs, si elle se produisait, ce serait lors des séances de radiothérapie profonde, et dans ce cas, la masse de l'anticathode rencontrerait le filtre d'aluminium interposé entre le tube et le sujet.

Le 2e, beaucoup moins grave, est la crainte d'étincelles désagréables pour le patient. Il est évident qu'un tube long, soumis à une différence de potentiel de 100.000 volts, peut être le siège de décharges disruptives allant d'une électrode au sujet ; des tissus de caoutchouc plombeux peuvent recouvrir le sujet, mais

ils sont lourds; une solution plus élégante a été trouvée par le Docteur Henri Béclère : le malade est recouvert d'une nappe de tissu conducteur, étoffe légère tissée d'argents.

Ce tissu est relié par un fil souple au sol (conduite d'eau, par exemple); ainsi est réalisée très simplement une cage de Faraday mettant le malade à l'abri des étincelles.

Le 3e reproche, le plus sérieux adressé au tube Coolidge, est le danger de radiodermite qu'il fait courir au malade et à l'opérateur.

1° *Au malade.* — Le Coolidge est puissant; de là son efficacité et son danger : il en est de même de toute médication active digitaline, aconitine, etc. Il ne faut donc point mettre un tel tube entre des mains inhabiles. Maniée par un radiothérapeute compétent, l'ampoule Coolidge est moins dangereuse qu'un tube à cathode froide, car elle est constante. Sa marche parfaitement régulière permet un dosage du rayonnement, bien plus précis qu'avec tout autre tube; d'ailleurs parmi les nombreux malades traités avec le tube Coolidge et que nous avons pu suivre, aucun n'a présenté la plus légère radiodermite malgré les hautes doses administrées.

Un point cependant reste acquis : les cupules actuelles sont pour la plupart d'une opacité insuffisante; il serait utile d'augmenter soit leur épaisseur, soit la proportion des sels de plomb qu'elles contiennent, du moins pour celles qui servent à la radiothérapie, et où il faut des parois opaques, même pour les rayons très durs, émis par les tubes Standard (100.000 volts).

Pour protéger l'opérateur, les Américains ont adopté

une cupule hermétique, formée de deux demi-sphères réunies l'une à l'autre, ne présentant qu'une ouverture circulaire pour le passage du rayonnement utilisé ; ces cupules sont tout en verre au plomb; il faut en effet qu'elles présentent 3 qualités primordiales : être opaques aux rayons X, ne pas absorber la chaleur rayonnée, être mauvaises conductrices de l'électricité. Sans cela, les cupules remplissent mal leur rôle, et alors, ou bien elles sont insuffisamment efficaces, la protection du radiologiste est illusoire, ou bien elles s'échauffent trop rapidement et nuisent au tube, ou bien des étincelles jaillissent de l'ampoule à la cupule, d'où mauvais fonctionnement et danger pour la vie du tube. Ces cupules hermétiques, appliquées jusqu'alors au seul tube Radiateur, exigent la réunion de qualités un peu opposées, et sont très difficiles à établir; la solution satisfaisante ne nous a point paru être actuellement réalisée.

Pour la radiothérapie, seules les cupules ouvertes, selon le modèle habituel, sont utilisables ; or le rayonnement postérieur des tubes Standard est le 1/9 du rayonnement utilisable, et d'un pouvoir de pénétration inférieur de un demi à un degré Benoist à celui du faisceau normal. Cela semble constituer un danger sérieux pour l'opérateur; il est réel, mais très facile à éviter; le tube Coolidge est constant; son réglage peut s'effectuer à distance, le radiologiste peut et doit pendant la marche, rester derrière son paravent, doublé du plomb, ayant sous la main ses appareils de commande; inutile d'approcher du tube comme pour les autres ampoules,

nécessitant le chauffage de l'osmorégulateur; ici tout est commandé par 2 manettes, l'emploi d'un paravent est donc indispensable, l'épaisseur de 3 millimètres de plomb métallique nous a paru suffisante : un électroscope placé derrière cette épaisseur de métal pendant les séances de radiation, ne se décharge que très lentement; par contre, ce même électroscope placé à deux mètres de l'anticathode se décharge presque instantanément dès que le tube est en fonctionnement.

Enfin, il reste à prendre des précautions contre les dangers d'électrocution, surtout à craindre avec les meubles Coolidge. Pour cela, il faut que les fusibles du meuble soient exactement calculés pour le travail maximum que l'on doit demander à l'appareillage. Les pieds, chassis, doivent être mis à la terre très soigneusement. Le malade, l'opérateur doivent au contraire reposer sur un plancher isolant. Pour la radiothérapie, le malade doit être recouvert d'un tissu conducteur relié au sol, formant cage de Faraday; le même dispositif pourrait être employé pour l'opérateur.

En cas d'utilisation d'un trolley, un disjoncteur automatique doit couper le courant si l'un ou les 2 fils du trolley viennent à se détacher. Il est bon enfin d'avoir une commande à pédale verticale, coupant le courant dès que le pied n'appuie plus sur cette pédale. Ces diverses précautions indiquées par le Dr H. Béclère n'empêchent point certains constructeurs, dont M. Drault de chercher de nouveaux dispositifs de sécurité à adapter à leurs meubles Coolidge.

CONCLUSIONS

CARACTÈRES PHYSIQUES

L'ampoule Coolidge présente un certain nombre de *caractères physiques* qui intéressent au plus haut point le médecin radiologiste.

1° *Le vide du tube étant pratiquement absolu, l'unique source d'électrons est le filament incandescent.* Il en découle les conséquences suivantes :

a) L'ampoule a une marche constante, si les sources de bas et haut potentiel qui l'alimentent sont elles-même invariables, tandis que les ampoules à cathode froide, ont un degré de vide variant avec le fonctionnement, d'où l'instabilité du tube.

b) L'ampoule ne présente pas de période de formation, comme les autres types d'ampoule, car son degré de vide est invariable, et les gaz occlus dans l'anticathode ont été chassés lors de la construction du tube.

c) L'intensité du rayonnement X dépend de la température du filament cathodique, le pouvoir de pénétration

de la vitesse des électrons. La 1re se règle avec le rhéostat du transformateur basse tension, la 2e avec le rhéostat du transformateur de haut potentiel. Il existe ainsi une certaine indépendance entre l'intensité et le pouvoir de pénétration. Cette indépendance n'est pas absolue; elle est maxima quand le tube a atteint son régime de saturation c'est-à-dire quand tous les électrons émis par le filament incandescent sont utilisés. Ceci est toujours réalisé automatiquement avec l'emploi des meubles Coolidge, ou des contacts tournants à auto-transformateur et sans rhéostat, c'est-à-dire avec les appareillages où les résistances capables de limiter le débit sont supprimées. Avec les autres installations, il est d'ailleurs facile d'atteindre le courant de saturation, et de se placer dans les mêmes conditions qu'avec le meuble Coolidge.

2° *Le rendement du tube Coolidge* est du même ordre que celui des tubes à gaz raréfiés; comme avec ces derniers, le rendement croît avec la différence de potentiel appliqué aux bornes du tube; comme avec eux, le rendement dépend de la nature de l'anticathode, enfin, comme dans les tubes à cathode froide, les ampoules à anticathode incandescente ont un meilleur rendement que celles à anticathode refroidie. Dans les mêmes conditions électriques de voltage et d'intensité, le rendement des 4 tubes étudiés a été :

Tubes à anticathode incandescente :

En platine : tube Chabaud..... = 13
En tungstène : tube Standard.... = 12

Tubes à anticathode refroidie :

Tube Pilon O. M..... = 9
Tube Coolidge radiateur . ..... = 8

3° *La composition du faisceau X émis par les tubes Coolidge n'est pas homogène.* Il a, dans les mêmes conditions de voltage et d'intensité, la même composition que celui émis par les tubes à gaz raréfié, pour le tube Standard ; le tube radiateur émet un faisceau de composition plus homogène. L'étude du faisceau émergeant de filtres d'aluminium d'épaisseur différente, montre que le rayonnement n'est homogène (coefficient d'absorption constant) qu'à partir de 10 millimètres, mais à partir de 5 à 6 millimètres les variations sont faibles et probablement négligeables pour la radiothérapie (cas d'un tube fonctionnant sous 22 centimètres d'étincelle équivalente).

4° *L'endurance des tubes Coolidge* est très grande : Ils supportent des courants d'aussi forte intensité que les tubes de radiographie à cathode froide.

Pour le voltage, les tubes Radiateur n'admettent que les courants ne dépassant pas 60.000 volts (12-13 cm. d'étincelle équivalente) qui donnent les rayons les plus durs que l'on puisse utiliser pour l'obtention de bonnes radiographies médicales.

Les tubes Standard fonctionnent sans faiblir sous 100.000 volts, ce que ne peut supporter aucun tube à gaz, d'où leur grande supériorité en radiothérapie.

Utilisés dans les conditions indiquées par les constructeurs, les tubes Coolidge ont une durée 7 à 8 fois

plus grande que les tubes à cathode froide, ce qui compense en partie leur prix élevé.

5° *Le fonctionnement des tubes Coolidge* ne s'accompagne pas de fluorescence des parois du ballon, d'où absence de ce foyer de rayons X parasites; le focus, un peu plus large que dans certains tubes à gaz, ne présente aucune mobilité; aussi le pouvoir séparateur des tubes Coolidge est-il comparable à celui des tubes à gaz; à ce point de vue, le Coolidge radiateur est supérieur au Coolidge Standard.

6° *Les tubes Coolidge sont asymétriques* et font office de soupape : cette fonction n'est qu'imparfaitement remplie avec les tubes Standard, parce que l'anticathode s'échauffe, tandis que les tubes Radiateur, utilisés dans les limites indiquées par les constructeurs, jouent ce rôle à la perfection.

Si nous examinons maintenant les appareillages capables d'utiliser les tubes Coolidge, nous aboutissons aux conclusions suivantes.

APPAREILLAGE

1° *Tous les anciens appareillages*, hormis les petits postes transportables, trop peu puissants, peuvent après de légères et faciles modifications, utiliser les tubes

Coolidge. Seuls, ces anciens postes peuvent utiliser le tube Standard dont l'asymétrie n'est pas complète.

Parmi les appareillages, celui avec bobine et interrupteur à mercure nous semble être actuellement le meilleur dispositif pour la radiothérapie profonde. La solution indiquée par M. Villard (condensateurs en série, soupape en dérivation) réalisée sous le nom de meuble d'Arsonval-Gaiffe, modifiée par l'emploi de soupapes Kénotron, nous semble appelé à un grand avenir ainsi que la solution nouvelle avec condensateurs et 2 Kénotrons, proposée par la Maison Gaiffe-Pilon.

2° *Les nouveaux appareillages* ne peuvent utiliser qu'un seul type d'ampoule, le tube Coolidge Radiateur ; ils sont extrêmement pratiques pour le radiodiagnostic, et même la radiothérapie superficielle ; leur simplicité les rend robustes, silencieux, pour ainsi dire indéréglables — Ici, grâce à l'auto-transformateur, l'indépendance intensité-pouvoir de pénétration est presque absolue. L'absence de rhéostat, la présence d'un transformateur à circuit magnétique fermé rend cet appareil dangereux si l'on ne prend certaines précautions sur lesquelles a insisté le Docteur Henri Béclère, et qui peuvent se résumer ainsi :

1° Utiliser des fusibles volatilisés dès que l'intensité maxima normale est légèrement dépassée.

2° Mettre les pieds porte-ampoule et chassis en communication large avec la terre.

3° Recouvrir le malade pendant la radiothérapie de tissu conducteur relié au sol et jouant le rôle de cage de Fraraday.

4° Utiliser des pédales de commande de courant, adjoindre au trolley un disjoncteur automatique, coupant le courant si le trolley se détache.

Si nous nous plaçons sur le terrain purement médical, il nous faut envisager les avantages des tubes Coolidge au double point de vue du diagnostic et de la thérapie :

DIAGNOSTIC

Au point de vue diagnostic, le tube Coolidge est remarquable par sa souplesse ; en un instant, nous pouvons obtenir toute une gamme de rayons de pouvoir de pénétration très divers, choisir celui qui donne les plus grands contrastes. Ainsi est grandement facilitée l'exploration des champs pulmonaires à la radioscopie. A peine avons-nous achevé un tel examen avec des rayons assez mous que nous pouvons passer avec le même tube à celui du tube digestif exigeant des rayons plus durs. Cette souplesse nous sera utile également dans la recherche radiographique des calculs rénaux ou biliaires. Pour la radiographie, la constance du tuboe Colidge sera un avantage supérieur encore au précédent. Grâce à elle, nous retrouvons sans peine les mêmes constantes de pénétration et d'intensité, l'obtention de bonnes épreuves radiographiques devient bien plus facile qu'au-

trefois et nécessite un apprentissage beaucoup moins long qu'avec les tubes à gaz.

Certes, le tube Coolidge ne rend point le radiodiagnostic plus facile ; celui-ci est et restera œuvre de jugement, de savoir, d'expérience, mais il facilite au plus haut point la technique radiologique, il la met à la portée de tous les médecins ; de la sorte, il contribuera à la vulgarisation de plus en plus grande du radiodiagnostic.

RADIOTHÉRAPIE

Les avantages du tube Coolidge ne sont pas moins grands dans le domaine de la radiothérapie. La 1re qualité de ce tube est sa *constance* : tant qu'il est soumis aux mêmes conditions électriques, ni l'intensité, ni le pouvoir de pénétration du rayonnement qu'il émet ne subissent de variations, d'où facilité et précision plus grandes des dosages. Sa 2e qualité est son *endurance* : il peut supporter des différences de potentiel de 100.000 volts, que n'admet aucun tube à cathode froide. A ce voltage, il émet des rayons X très pénétrants, de longueur d'onde plus courte que celle des rayons obtenus avec les autres ampoules. Ainsi donc la radiothérapie profonde est devenue, grâce à ce fait, et à l'emploi, rendu possible, de filtres épais d'aluminium, beaucoup plus efficace ; ajoutons qu'elle est devenue

plus dangereuse aussi. L'inverse eut été bien étonnant : les seules médications inoffensives sont celles qui sont dénuées de pouvoir curateur. La radiothérapie est devenue plus puissante et plus délicate à manier. Le perfectionnement des méthodes de dosage, des appareils de protection : cupules, paravents, etc..., doit suivre les progrès effectués dans les autres voies ; de la part du radiologiste, cela nécessite une expérience et une somme de connaissances de plus en plus grande à mesure que s'agrandit son champ d'action.

Vu : le Président,
JEANSELME

Vu : le Doyen,
ROGER

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
POINCARÉ

BIBLIOGRAPHIE

Duone et Hunt. — *Physical Review*, Août 1914.

Barnes. — *Philosophical Magazine*, n° 177, 1915.

M. de Broglie. — *Journal de Physique*, Février 1914.

— Compte-rendu Acad. Sc., Novembre 1915, Juillet 1916, Octobre 1916.

Coolidge et Moore. — *General Electric Review*, Avril 1917.

H. Pilon. — *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, Juillet 1916.

Ledoux-Lebard. — *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, n° 8, 1917.

Journal of Roentgenology, Vol. XI, 1915.

United States Army X Ray. Manual.

Bulletin de la Société de Radiologie Médicale de France.

H. Pilon. — *Le Tube Coolidge.*

Cluzet. — *Lyon Médical*, n° 4, 1919.

Journal de Radiologie et d'Electrologie, n° 8, 1919.

Langmuir. — *Phys. Rev.*, 1913, Le Radium, Mai 1919.

H. Guilleminot. — *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, n° 6, 1919.

— *Archives d'Electricité médicale*, Avril 1919.

Boll et Mallet. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Septembre 1916.

A. Lumière. — *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, Mai 1919.

Coolidge. — *Archives de Radiologie et d'Electrothérapie*, Juin 1918.

— *The American Journal of Roentgenology*, Avril 1919.

Rutherford et Barnes. — *Philosophical Magazine*, n° 30, 1915.

A. Dauvillier. — *Revue Générale d'Electricité*, Mars 1917.

Boll et Mallet. — *Paris Médical*, Octobre 1917.

G. Richou. — *Paris Médical*, Juin 1917.

Arcelin. — *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, Octobre 1919.

R. Vinox. — *Proceedings of Roy. Soc. of Med.*, Avril 1916.

Coulommiers. — Imp. Dessaint & Cie, 41, rue de Melun.